

INCIDENCIA RECIENTE DEL FUEGO EN DISTINTOS TIPOS DE VEGETACIÓN ARBOLADA Y ESTIMACIONES EN ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS EN ESPAÑA PENINSULAR.

LUIS CASAIS CALO



TUTORES:

ANTONIO VÁZQUEZ DE LA CUEVA

MARÍA EUGENIA PÉREZ GONZÁLEZ

Trabajo de Fin de Máster
Septiembre 2012

Máster en Tecnologías de la Información Geográfica
Universidad Complutense de Madrid



Este trabajo surge en el contexto de las prácticas en empresa del Master en Tecnologías de la Información Geográfica de la Universidad Complutense de Madrid, que realicé en el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), y más concretamente en el Centro de Investigación Forestal (CIFOR) bajo la dirección de Antonio Vázquez de la Cueva, que además ha facilitado parte de los datos empleados.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Planteamiento e interés del tema	5
1.2. Estudios previos	6
1.3. Objetivos	8
1.4. Estructura	9
 CAPÍTULO 1. INCIDENCIA DEL FUEGO EN LAS PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES	
ESPAÑOLAS	10
1.1. Introducción	10
1.2. Material y métodos	10
1.2.1. Especies de arbolado	10
1.2.2. Estimación de la superficie forestal con el MFE50	10
1.2.3. Ecozonas	11
1.2.4. Datos incendios (1974-2005)	12
1.2.5. Procedimiento de análisis	13
1.3. Resultados	13
1.3.1. Estimación de la superficie forestal con el MFE50	13
1.3.2. Datos incendios (1974-2005)	16
 CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA: DATOS METEOROLÓGICOS OBSERVADOS Y	
ESCENARIOS CLIMÁTICOS	23
2.1. Introducción	23
2.2. Material y métodos	23
2.2.1. Datos climáticos observados	23
2.2.2. Modelos climáticos regionales	24
2.3. Resultados	24
 CAPÍTULO 3. SELECCIÓN DE “ÁREAS DE REFERENCIA” DE CADA ESPECIE FORESTAL	29
3.1. Introducción	29
3.2. Material y métodos	29
3.3. Resultados	30
 CAPÍTULO 4. ESTIMACIONES DEL PERIODO DE ROTACIÓN DE LA SUPERFICIE ARBOLADA EN	
ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS	36
4.1. Introducción	36
4.2. Material y métodos	36
4.3. Resultados	38
 II. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
III. AGRADECIMIENTOS	46
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Clases seleccionadas para la reclasificación del MFE50.....	11
Tabla 2. Distribución de las 9 clases de arbolado por tipo de vegetación potencial a la resolución 10x10 km (valores relativos)	14
Tabla 3. Distribución de las 9 clases de arbolado por tipo de vegetación potencial a la resolución 10x10 km (superficie en hectáreas)	15
Tabla 4. Superficie arbolada quemada y número de casos totales para los 9 tipos de vegetación arbolada (1974-2005).....	17
Tabla 5. Número de casos por especie y por ecozona para el periodo 1974-2005 a la resolución de 10x10 km	18
Tabla 6. Superficie quemada (hectáreas) por tipo de vegetación arbolada y ecozona para el periodo 1974-2005 a la resolución de 10x10 km	18
Tabla 7. Frecuencia de incendios (número de casos en 10.000 ha de superficie de referencia y año) para los 9 tipos de vegetación arbolada y los 15 tipos de vegetación potencial. Periodo 1974-2005.....	22
Tabla 8. Periodo de rotación (número de años necesario para que se vea afectada por el fuego una superficie igual a la de referencia) para los 9 tipos de vegetación arbolada y las 15 ecozonas. Periodo 1974-2005.....	22
Tabla 9. Promedio de la temperatura media anual y de la precipitación media anual acumulada para los tipos de vegetación potencial a resolución 0,5x0,5º. Datos climáticos correspondientes a Malla Climática de España Peninsular, Atlas Climático Digital de la Península Ibérica, datos AEMET Periodo de Control y Escenarios B2 y A2	25
Tabla 10. Tabla con los ratios obtenidos (Vázquez <i>et al.</i> , 2012) entre las estimaciones para los Escenarios A2 y B2 y el Periodo de Control para la superficie arbolada quemada para los 15 tipos de vegetación potencial. Valores de los ratios obtenidos y valores limitados a 5.....	37

FIGURAS

Figura 1. Delimitación en dos resoluciones (10x10 km y 0,5x0,5º) de España peninsular basada en los tipos de vegetación potencial (reelaborado a partir Rivas-Martínez, 1987)	12
Figura 2. Cuadrículas 10x10 km basadas en el sistema de proyección UTM	13
Figura 3. Mapas con la estimación de la superficie forestal en hectáreas para los 9 tipos de vegetación a partir del Mapa Forestal de España escala 1:50.000 (resolución 10x10 km).....	16
Figura 4. Número de incendios y superficie quemada total por cuadrícula 10x10 km para el periodo 1974-2005.....	17
Figura 5. Mapas de los 9 tipos de vegetación arbolada con el número de casos por celda 10x10 km para el periodo 1974-2005	20
Figura 6. Mapas de los 9 tipos de vegetación arbolada con la superficie quemada en hectáreas por celda 10x10 km para el periodo 1974-2005.....	21
Figura 7. Gráficos de comparación del promedio de temperatura media anual y promedio de precipitación media anual acumulada entre datos AEMET Periodo de Control y Escenarios B2 y A2 para los tipos de vegetación potencial a resolución 0,5x0,5 º	25
Figura 8. Mapas de la temperatura media anual en ºC a resolución 10x10 km y 0,5x0,5 º. Comparación de datos climáticos correspondientes a Malla Climática de España Peninsular, Atlas Climático Digital de la Península Ibérica y datos AEMET Periodo de Control	26
Figura 9. Mapas de la precipitación media anual acumula en mm a resolución 10x10 km y 0,5x0,5º. Comparación de datos climáticos correspondientes a Malla Climática de España Peninsular, Atlas Climático Digital de la Península Ibérica y datos AEMET Periodo de Control .	27
Figura 10. Mapas de comparación entre la temperatura media anual en ºC y la precipitación media anual acumulada en mm a resolución y 0,5x0,5º. Datos AEMET Periodo de Control y Escenarios B2 y A2	28
Figura 11. Mapas con las áreas de referencia seleccionadas para cada una de las clases de arbolado	30
Figura 12. Diagramas de caja para caracterizar climáticamente las áreas de referencia en las 9 clases de vegetación arbolada. Comparación entre el Atlas Climático Digital de la península Ibérica a las resoluciones 10x10 km y 0,5x0,5 º y los datos de AEMET Periodo de Control para la temperatura media (A) y la precipitación acumulada (B), y comparación entre los datos AEMET Periodo de Control y los Escenarios A2 y B2 para la temperatura media (C) y la precipitación acumulada (D)	31
Figura 13. Gráficos de superficie forestal, superficie arbolada y superficie de cada clase de arbolado para las áreas de referencia de las 9 clases (MFE50)	33
Figura 14. Gráficos de casos totales y casos de cada clase de arbolado para las áreas de referencia de las 9 clases (1974-2005)	34
Figura 15. Gráficos de superficie arbolada quemada y superficie arbolada quemada de cada clase de arbolado para las áreas de referencia de las 9 clases (1974-2005)	35

Figura 16. Diagramas de caja de Frecuencia de incendios forestales (A) de la superficie forestal total quemada, de la superficie arbolada quemada y de la superficie afectada de cada especie de arbolado para las áreas de referencia de las 9 clases de arbolado. Periodo de Rotación (B) para la de la superficie forestal total quemada, de la superficie arbolada quemada y de la superficie afectada de cada especie de arbolado para las áreas de referencia de las 9 clases de arbolado (1974-2005)	35
Figura 17. Mapa con los ratios obtenidos (Vázquez <i>et al.</i> , 2012) entre las estimaciones para los Escenarios A2 y B2 y el Periodo de Control de la superficie arbolada quemada para los 15 tipos de vegetación potencial	37
Figura 18. Diagramas de caja del Periodo de Rotación para las áreas de referencia de las 9 clases de arbolado (A) y síntesis general de los datos (B). Comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 y de los Escenarios A2 y B2 limitados a 500 años.....	39
Figura 19. Diagramas de caja con la síntesis de los datos del Periodo de Rotación de las áreas de referencia con la comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 y de los Escenarios A2 y B2 limitados a 500 años referidos a las 9 clases de arbolado.....	40
Figura 20. Gráficos de comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 y de los Escenarios A2 y B2 limitados a 500 años para las áreas de referencia de las 9 clases de vegetación arbolada	41
Figura 21. Mapas de comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 y de los Escenarios A2 y B2 para las áreas de referencia de las 9 clases de vegetación arbolada	42
Figura 22. Medidas para paliar los efectos de los incendios forestales.....	45

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Planteamiento e interés del tema.

Los incendios forestales son una perturbación de carácter recurrente que tiene una gran influencia sobre la estructura y funcionamiento de gran parte de los ecosistemas terrestres (Moreno, 2005). Por lo tanto, son un factor determinante en la configuración de los espacios forestales, tanto condicionando el tipo de cubiertas vegetales, como la distribución espacial de éstas (Vázquez y Rodríguez, 2008).

La incidencia de los incendios forestales es el resultado de interacciones entre distintos elementos muy variables en el tiempo y en el espacio. Los factores considerados de mayor influencia en la incidencia del fuego son: las condiciones climáticas y meteorológicas, la presencia de combustibles disponibles, la presencia de fuentes de ignición y las actividades humanas (Moreno *et al.*, 1998).

Es cierto que el fuego puede presentar una serie de efectos negativos importantes en la seguridad y salud humanas, en las economías locales y en el cambio climático. Pero esto no nos debe apartar de la idea de que los incendios forestales son un proceso ecológico natural esencial para muchos ecosistemas.

Es evidente pues, que las condiciones climáticas son un factor esencial en la ocurrencia y en el régimen de los incendios forestales (Flannigan *et al.*, 2009), pero hay que tener muy en cuenta la actividad humana en esta ecuación. Ya sea por condicionar la vegetación potencial de un territorio con sus actividades, por ser fuente de ignición o por ayudar a su extinción, la actividad humana ha dado como resultado patrones espaciales y temporales muy variables (Vázquez, 1996). Los cambios que se han producido en el medio rural gracias al proceso de industrialización y el éxodo a las ciudades, pasando de un aprovechamiento intensivo del monte a un abandono total de éste, han dado como resultado algunos cambios que sin duda han incrementado el riesgo de incendios forestales al aumentar el combustible disponible gracias a este abandono del uso forestal.

Centrándonos en la relación entre clima e incendios forestales, no cabe duda que unas determinadas condiciones climáticas favorecerán o no la probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal. La teoría dice que los incendios tenderán a ocurrir en aquellos lugares que no son muy húmedos, ya que prenderán con más dificultad, y en lugares no muy secos, porque no habrá tanta presencia de combustible. Así, las zonas intermedias con una productividad que permita tener vegetación abundante y con un periodo seco, serán las más propicias para la ocurrencia de incendios forestales (Moreno, 2007). Por lo tanto, las condiciones climáticas ejercen un papel muy importante en la probabilidad de ocurrencia de un incendio, pero la teoría siempre es más difícil de extrapolar a ambientes donde el hombre tiene más influencia. Se puede dar el caso, y de hecho se da, que debido al factor humano, zonas con índices de peligro de incendio bajos sean las más afectadas. Pero esto no quiere decir que en determinados lugares la relación entre peligro de incendio y ocurrencia de incendio no sea la que cabe esperar, ni que las variables climáticas no se deban tener en cuenta a la hora de calcular un índice de peligro, ya que por regla general son las que mejor explican la ocurrencia

de incendios forestales, y de hecho muchas variables relacionadas con el clima son la base de la mayoría de los sistemas de predicción de riesgo de incendio.

Esta claro que la incidencia del fuego está muy relacionada con los patrones climáticos, pero estos patrones se verán alterados en escenarios climáticos futuros. Cabe preguntarse como las nuevas condiciones afectarán al riesgo de incendios forestales en el futuro. Se prevé que el actual calentamiento global, provocado en gran medida por las emisiones de carbono antropogénicas, continúe durante el siglo XXI (IPCC, 2007). El aumento de las temperaturas y de sus valores extremos, así como la alteración de los patrones y la posible disminución de las precipitaciones, sobre todo en el periodo estival, tendrán un efecto importante sobre el régimen de incendios. La predicción es que las condiciones climáticas favorables a la propagación del fuego serán más frecuentes y durarán más tiempo (Moreno, 2005), dando como resultado incendios de mayor intensidad y severidad en los que se vea afectada más superficie y con una temporada de incendios más larga (Flannigan *et al.*, 2005a), siendo los ecosistemas de tipo mediterráneo de los más vulnerables y los que sufrirán unos impactos más profundos (IPCC, 2007). Así podremos explorar riesgos futuros relacionando la evolución de las variables climáticas y la incidencia de los incendios. Pero estas extrapolaciones debemos ponerlas entre comillas dadas las muchas asunciones que debemos realizar para prolongar los actuales patrones en el futuro, especialmente en zonas donde el hombre ejerce una mayor presión sobre el territorio siendo en muchos casos el causante de la mayoría de los incendios forestales (Vázquez, 1996). Pero aunque sea importante ver como el cambio climático puede afectar a la incidencia de los incendios forestales en el futuro, ya que esto nos permitirá adaptarnos y estar más preparados para combatir futuros peligros, no debemos perder de vista que los incendios forestales son un problema grave en la actualidad, sobre todo desde el abandono del uso forestal. Por lo tanto, no es necesario apoyarse en escenarios climáticos futuros para centrar nuestros esfuerzos en la lucha contra los incendios en la actualidad.

Otro aspecto a tener en cuenta es que los incendios, además de verse afectados por el cambio climático, también contribuyen al calentamiento global por las emisiones de carbono. Por lo que un clima más cálido y seco que favorecería las condiciones propicias para los incendios, a su vez aumentaría las emisiones de carbono y agravaría la situación (Lavorel *et al.*, 2006).

Mi interés a la hora de realizar el presente trabajo es el de analizar la incidencia del fuego en los principales tipos de vegetación arbolada de la España peninsular y realizar estimaciones de la incidencia del fuego en escenarios climáticos futuros.

1.2. Estudios previos.

En este apartado haré un breve repaso a alguno de los trabajos que analizan la incidencia del fuego y las relaciones entre incendios forestales, cambio climático, condiciones meteorológicas y otros aspectos de interés. Sobre estos campos de estudio se han publicado muchos trabajos desde hace varias décadas. Por ejemplo, en la tesis doctoral de A. Vázquez (1996) se profundiza en el análisis de los incendios registrados en España (1974-94) y las relaciones que se dan entre las condiciones climáticas y el paisaje. En la misma línea tenemos el trabajo de Moreno *et al.* (1998), donde se analiza las tendencias temporales y los patrones geográficos de la ocurrencia de incendios en España y donde el núcleo del trabajo se basa en el análisis estadístico de los incendios registrados. Destacar también el trabajo Vázquez *et al.*, (2002) donde se pone de manifiesto la existencia de patrones espaciales del fuego relacionados con el tipo de vegetación potencial natural. En Vázquez *et al.*, (2006) se buscan patrones espaciales

de la incidencia del fuego relacionados con gradientes de mayor productividad forestal. Se concluye afirmando que la mayor incidencia de los incendios forestales se ha registrado en las áreas más productivas. En Vázquez y Rodríguez (2008), se compara la incidencia de los incendios forestales con los cambios que se registraron en la cubierta vegetal (1987-2000). En la tesis doctoral de G. Zabala (2012) se profundiza en el conocimiento de los patrones relacionados con la ocurrencia de incendios y como se relacionan estos con diversos factores como puede ser el impacto que el Cambio Climático tendrá en las condiciones futuras del fuego.

De gran utilidad es el trabajo de Lavorel *et al.*, (2006) ya que nos presenta un marco teórico para los estudios multidisciplinarios que relacionan la vulnerabilidad de los ecosistemas terrestres al fuego y las interrelaciones entre seres humanos, clima, atmosfera y los ecosistemas. De gran valor es también el capítulo que Moreno (2005) dedica al riesgo de incendios forestales. En este capítulo se puede ver un análisis detallado sobre el riesgo de incendios forestales asociado al cambio climático y donde se concluye en afirmar que las condiciones climáticas que favorecen a los incendios forestales serán más frecuentes y duraran más tiempo en el futuro. En relación con este último, tenemos en trabajo de Moreno (2007), que con una visión desde España, muestra la relación entre la vegetación, el fuego y la actividad humana. También analiza las relaciones entre el clima y los índices de peligro climáticos y la ocurrencia de incendios. Destaca el uso del FWI (Fire Weather Index) que utiliza para analizar el peligro de incendio durante el siglo XXI. Flannigan y Harrington (1988) analizan el grado en el cual la varianza en un área quemada se explica mediante variables meteorológicas simples. Básicamente estudia la relación entre variables meteorológicas y el área mensual quemada por incendios en 9 provincias de Canadá, con el objetivo de desarrollar una descripción estadística de las condiciones meteorológicas asociadas a los meses con mayor número de incendios.

También encontramos varios artículos que se centran en los efectos que tiene el Cambio Climático sobre la incidencia del fuego en el futuro. En Flannigan y Van Wagner (1991) y Flannigan *et al.*, (2000) se aborda, para Canadá y EEUU respectivamente, el impacto del Cambio Climático sobre el régimen de incendios forestales. En ambos casos comparan el SSR (Seasonal Sererity Rating, índice que se usa para examinar cambios en la severidad del fuego) de distintos escenarios climáticos y también evalúan la sensibilidad de distintos componentes del FWI. Se llega a la conclusión que habrá un incremento de la severidad de las condiciones climáticas con un más que probable aumento del área quemada. En una línea de trabajo similar, aplicada a California, encontramos el artículo de Fried *et al.*, (2004) que pretende ver como variará la intensidad y tamaño de los incendios forestales en escenarios climáticos futuros según el tipo de vegetación dominante del paisaje.

Por otra parte, en Flannigan *et al.*, (2005a) el objetivo es estimar la magnitud del área quemada en Canadá al final del siglo XXI mediante estimaciones en escenarios climáticos futuros. Para ello relacionaron la incidencia del fuego con variables climáticas simples y con componentes del FWI mediante modelos de regresión tomando como base la ecozona (zonas de vegetación potencial natural). Relacionado con este trabajo encontramos el artículo Vázquez *et al.*, (2012) que será de gran importancia en el presente trabajo. En él, se han elaborado modelos de regresión lineal teniendo en cuenta una serie de variables meteorológicas mensuales y variables relativas a la incidencia del fuego para las distintas ecozonas. Una vez que la relación entre las variables relativas a la incidencia del fuego y las variables meteorológicas fueron determinadas, se utilizaron para estimar la incidencia del fuego en el Periodo de Control (1961-1990) y en los Escenarios A2 y B2 (2071-2100). Después

se calcularon los ratios entre los valores estimados entre los Escenarios A2 y B2 frente a los estimados en el Periodo de Control. Todo esto con el objetivo de realizar estimaciones de la incidencia del fuego en escenarios climáticos futuros para España peninsular.

Por último hacer referencia a dos artículos. El primero es el trabajo de Flannigan *et al.*, (2005b) donde se analizan y sintetizan trabajos de investigación sobre el fuego y el cambio climático y la dirección potencial de los estudios en el futuro. Todo ello centrándose en Canadá. El artículo concluye en afirmar que bajo el clima más cálido y seco que se espera en el futuro, los incendios serán más graves, ocuparán más extensión, serán más intensos y severos y con una temporada de incendios más larga. Las futuras vías de investigación sobre este campo, como por ejemplo el uso de modelos dinámicos de vegetación (DVMS), tendrán el objetivo final de realizar modelos de simulación que pudieran tener módulos dinámicos de incendios, vegetación, clima, actividad humana y las interacciones necesarias para poder simular la actividad de un incendio a nivel global. El otro trabajo es el de Flannigan *et al.*, (2009) en donde se revisa el conocimiento actual y lo que puede deparar en el futuro los estudios en relación con los incendios forestales. Se analizan también opciones futuras de investigación y gestión, como pueden ser la mejora de los datos de los incendios y las mejoras en los estudios sobre clima y vegetación, además de promover la investigación sobre el papel de las políticas, prácticas y comportamiento humano ya que tiene una gran influencia en la actividad global del fuego.

Dentro de este contexto este trabajo pretende profundizar en el conocimiento de la incidencia del fuego en las principales especies forestales españolas, analizando los datos sobre incendios del periodo 1974-2005, y realizar estimaciones del periodo de rotación de incendios forestales en escenarios climáticos futuros.

I.3. Objetivos.

Los objetivos de este trabajo son:

- Valorar la incidencia del fuego registrada para las principales especies forestales españolas en las últimas décadas.
- Caracterizar climáticamente con los datos meteorológicos observados y los derivados de escenarios climáticos futuros las ecozonas y áreas de referencia empleadas.
- Delimitar y caracterizar a nivel espacial “áreas de referencia” representativas de las especies forestales consideradas.
- Realizar estimaciones futuras del periodo de rotación para cada especie y área de referencia basadas en modelos previos ya publicados (Vázquez *et al.*, 2012).

La idea de partida es evaluar la incidencia del fuego en las principales especies de arbolado y ver en que medida variará en el futuro teniendo en cuenta la evolución estimada de las variables climáticas durante este siglo. Estos objetivos se han llevado a cabo con la ayuda de los SIG, que son una herramienta del todo útil para este tipo de trabajos ya que nos permiten realizar operaciones y análisis de datos espacialmente referenciados y una posterior representación cartográfica de estos.

1.4. Estructura.

En este trabajo en primer lugar se ha planteado el tema de estudio y realizado una pequeña revisión sobre algunos de los trabajos existentes. Posteriormente se enumeran los objetivos del trabajo. El núcleo de este trabajo estará organizado en cuatro capítulos:

En el capítulo 1 **“Incidencia del fuego en las principales especies forestales españolas”** se ha calculado la superficie forestal para los 9 tipos de vegetación arbolada en las unidades de referencia de los incendios forestales (cuadrículas de 10x10 km). Además, se presenta la división de España peninsular en 15 ecozonas basadas en el tipo de vegetación potencial. Por último, se presenta para cada uno de los 9 tipos de vegetación arbolada información sobre la incidencia del fuego en el periodo 1974-2005.

El capítulo 2 **“Caracterización climática: datos meteorológicos observados y escenarios climáticos”** tiene como objetivo comparar los datos climáticos disponibles a dos resoluciones (10x10 km y 0.5x0.5º) y los basados en los escenarios climáticos Aemet para el periodo de control y los dos escenarios climáticos.

En el capítulo 3 **“Selección de “áreas de referencia” de cada especie forestal”** se delimitan para cada tipo de vegetación arbolada una serie de áreas de referencia. Estos “casos de estudio” pretenden recoger las principales áreas de distribución de los tipos de vegetación considerados. Cada una de las áreas de referencia ha sido caracterizada calculando diversas variables relativas al régimen de incendios y otras. Las áreas de referencia han permitido evaluar así un posible rango en las estimaciones del área quemada en el futuro en distintas regiones geográficas en las que hay poblaciones relevantes de los diferentes tipos de vegetación considerados.

Por último en el capítulo 4 **“Estimaciones del periodo de rotación de la superficie arbolada en escenarios climáticos futuros”** se toman las estimaciones futuras basadas en los ratios calculados por Vázquez *et al.*, (2012). Los modelos se han basado en la relación entre la incidencia del fuego registrada en los últimos años y variables meteorológicas mensuales. Estos modelos permitieron calcular estimaciones de la incidencia del fuego en escenarios climáticos futuros frente a la incidencia actual. Los ratios correspondientes a la superficie arbolada quemada en los Escenarios de Emisiones A2 y B2 se han aplicado en este trabajo para realizar nuestras estimaciones en las áreas de referencia delimitadas. El modelo concreto a aplicar se basa en la ecozona en que se localiza el área de referencia. A partir de las estimaciones de superficie arbolada quemada se calcula el Periodo de Rotación de Incendios en escenarios futuros.

En el apartado final se discutirá sobre los resultados de estos cuatro capítulos y se sacarán las conclusiones del estudio.

En este trabajo se integran distintas fuentes de información que iremos comentando en cada capítulo. Para su realización he utilizado principalmente el Sistema de Información Geográfica ArcGis 10 y los programas de cálculo Excel 2010 y el SPSS Statistics 20.

Capítulo 1

INCIDENCIA DEL FUEGO EN LAS PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES ESPAÑOLAS.

1.1. Introducción.

Lo que se pretende en este capítulo es ver cual ha sido la incidencia del fuego para las principales especies forestales en España. En primer lugar se presentan los 9 tipos de vegetación arbolada que se han tenido en cuenta. También se muestra la metodología y posterior análisis de los datos del cálculo de la superficie forestal para cada una de las 9 especies de arbolado mediante el Mapa Forestal Español escala 1:50.000, en las unidades de referencia de los incendios forestales (cuadrículas 10x10 km). Además, se presentan las ecozonas, que son divisiones de la España peninsular en 15 tipos de vegetación potencial (Rivas-Martínez, 1987), que se utilizaron como base para el cálculo de los ratios (Vázquez *et al.*, 2012) usados para realizar las estimaciones del Periodo de Rotación en escenarios climáticos futuros, y que además se han tomado de referencia para el resumen de los datos de incendios y estimaciones de superficie forestal. Por último, se presentan para cada uno de los 9 tipos de vegetación arbolada los datos de incendios del periodo 1974-2005 y se hace un breve análisis sobre la incidencia del fuego en las distintas especies.

1.2. Material y métodos.

1.2.1. Especies de arbolado.

Las especies de arbolado para las que se ha calculado la superficie forestal y para las que tenemos los datos de los incendios forestales se han agrupado en 9 clases (Vázquez, 1996).

Se han mantenido como clases independientes las especies de pinos más afectadas por incendios forestales: *Pinus sylvestris*, *Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra* y *Pinus pinaster*. Las demás especies de coníferas se han agrupado en la clase “otras coníferas”. Los distintos tipos de *Eucalyptus*, tales como *Eucalyptus globulus* o *Eucalyptus camaldulensis* entre otros, también se han agrupado en la misma clase. Todas las especies del género *Quercus* se han agrupado en una clase, donde destacan especies como *Quercus suber* o *Quercus ilex*. Por último, el resto de frondosas estarán presentes en la clase “otras frondosas”.

1.2.2. Estimación de la superficie forestal con el MFE50.

Para estimar la superficie forestal de los 9 clases de vegetación arbolada a partir del Mapa Forestal de España escala 1:50.000 (MFE50), tuve que crear una metodología utilizando los programas ArcGis 10 y Microsoft Excel.

En primer lugar hay que reclasificar las especies forestales arbóreas presentes en el MFE50. Hay que tener en cuenta que en el MFE50 se recogen las tres principales especies forestales arbóreas presentes en la tesela. Una vez que tengamos la reclasificación haremos una unión con cada una de las tres columnas donde están las especies arbóreas. Así tendremos reclasificadas por clases y en tres columnas, las tres especies arbóreas principales que puede haber como máximo en una tesela.

Tabla 1. Clases seleccionadas para la reclasificación del MFE50.

	Clase
C1	<i>Pinus sylvestris</i>
C2	<i>Pinus pinea</i>
C3	<i>Pinus halepensis</i>
C4	<i>Pinus nigra</i>
C5	<i>Pinus pinaster</i>
C6	<i>Eucalyptus</i>
C7	Otras coníferas
C8	<i>Quercus</i>
C9	Otras frondosas
C10	Matorral
C11	Herbáceas
C12	Cultivos agrícolas
C13	Agua
C14	Artificial
C15	Zona verde artificial

En cuanto a las teselas donde no hay especies arbóreas (donde las tres especies principales son 0), las reclasifiqué por el campo definición del MFE50, en donde se identifican los distintos usos del suelo que pueden aparecer. En primer lugar hice un resumen por el campo definición teniendo seleccionadas las teselas donde no hay especies arbóreas, así tendré una tabla donde aparecerán las distintas clases del campo definición presentes en donde no hay especie arbórea. Después solo tendré que ir seleccionando los campos donde la especie forestal principal sea 0 y sea un determinado campo de definición, como por ejemplo agrícola o matorral, e irle asignado una clase. Así hasta tener reclasificados todos los campos presentes.

Después hay que intersectar el MFE50 ya reclasificado con la malla de 10x10 km, basada en el sistema de referencia utilizado por la administración forestal, de donde provienen los datos de los incendios. A continuación calcularé el área de cada tesela resultado de la intersección.

Esta superficie estará ponderada por el campo ocupación, que es el grado de presencia en porcentaje de las especies arbóreas existentes. Hay que tener en cuenta que en algún caso puede reservarse hasta un 20% de ocupación para otras especies arbóreas presentes en la tesela aparte de las 3 especies principales. Para realizar este cálculo creé tres columnas donde multipliqué la superficie de cada tesela por su ocupación. Así tendré la superficie para cada clase. He considerado que las especies que no son arbolado y que por lo tanto tienen 0 en las especies arbóreas, otorgarle un 100% en la ocupación de la especie principal para que cuando la multiplique por el área de la tesela, considere que la totalidad de esta área pertenece a la especie o formación reclasificadas anteriormente con el campo definición. Con tablas dinámicas en Excel resumí los datos para que en cada celda 10x10 km quede la superficie de cada una de las tres reclasificaciones.

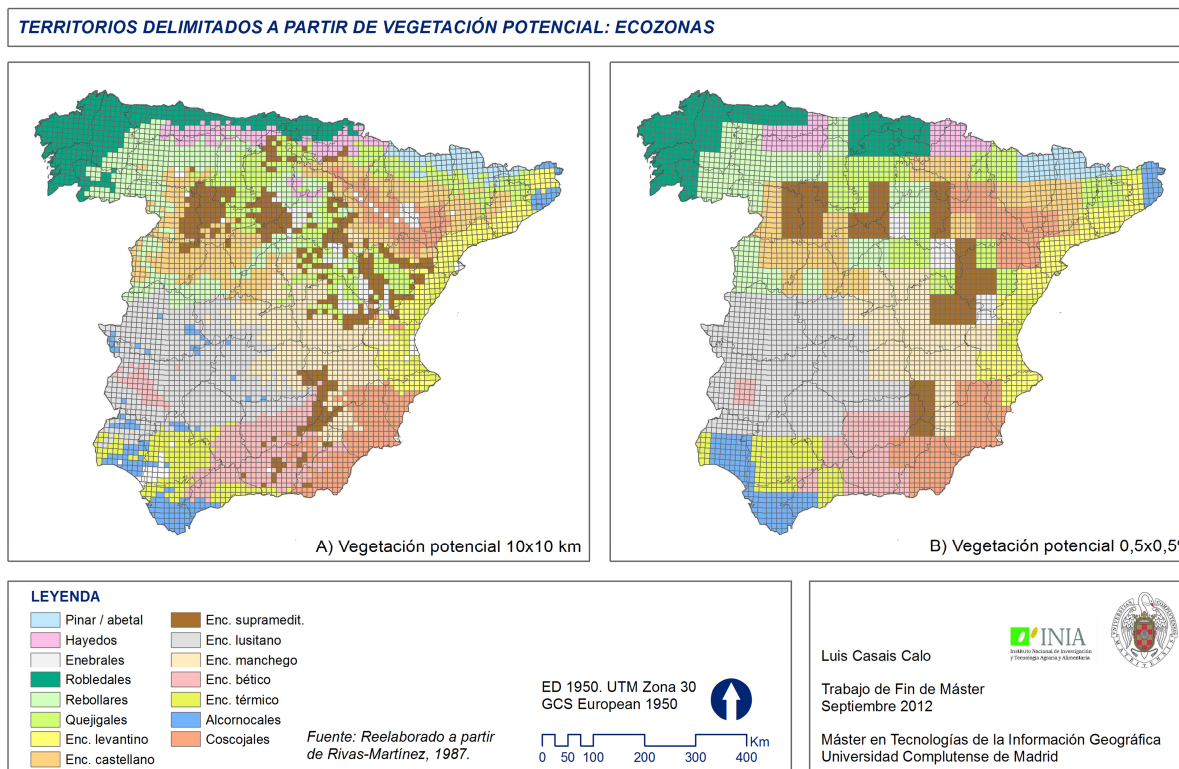
Una vez que tuve esas tres tablas las sumé y obtuve la tabla final con las superficies totales para cada clase. Por último solo tuve que pasar los datos a ArcMap y representarlos (Figura 3). De las 15 clases (Tabla 1) que he diferenciado a la hora de hacer este trabajo solo he utilizado las 9 primeras, correspondientes a especies de arbolado.

1.2.3. Ecozonas

En este apartado se presentan lo que denominaremos “*ecozonas*”, o territorios delimitados a partir de la vegetación potencial (Rivas-Martínez, 1987). Es una delimitación regional derivada del Mapa de Series de Vegetación de España escala 1:400.000. En nuestro caso tenemos 15 tipos de vegetación potencial, pero inicialmente eran 73 y estaban basados en la serie

dominante en cada cuadrícula 10x10 km. Estos 73 tipos de vegetación se fueron fusionando hasta obtener 43 tipos (Vázquez *et al.*, 2002) que finalmente se han vuelto a agrupar en 15 territorios (Vázquez *et al.*, 2012). En la Figura 1 podemos ver estos 15 tipos de vegetación a la resolución de 10x10 km, a la cual estaban originalmente disponibles los datos de vegetación e incendios, y a la de 0,5x0,5°, que es la resolución del modelo climático regional utilizado en el cálculo de los ratios (Vázquez *et al.*, 2012) que después aplicaremos en las estimaciones de área quemada.

Figura 1. Delimitación en dos resoluciones (10x10 km y 0,5x0,5°) de España peninsular basada en los tipos de vegetación potencial (reelaborado a partir de Rivas-Martínez, 1987).



Estas ecozonas se han utilizado como base para el cálculo de los ratios (Vázquez *et al.*, 2012) utilizados en las estimaciones del Periodo de Rotación en escenarios climáticos futuros que veremos en el capítulo 4. Además, he tomado esta división para el resumen de los datos de incendios y estimaciones de superficie forestal, entre otros.

1.2.4. Datos de incendios (1974-2005).

En el presente trabajo se han empleado datos derivados de las estadísticas forestales proporcionados por la administración forestal. Se trata de una serie temporal de datos sobre incendios forestales para la España peninsular que cubre el periodo 1974-2005. La elaboración de los datos, que en su origen proceden de la administración forestal española, se ha basado en trabajos previos (Vázquez, 1996; Moreno *et al.*, 1998) y se han ido actualizando (Vázquez *et al.*, 2006; 2012). Los incendios que se han considerado son los que han tenido una superficie quemada mayor a 0,1 ha.

El sistema de referencia consiste en la asignación de cada incendio a una cuadrícula 10x10 km definida por coordenadas UTM (Figura 2). La mayoría de las cuadrículas de la malla son de 10x10 km, pero las situadas entre las intersecciones de las hojas, las que lindan con los meridianos que forman los husos y las situadas en las zonas costeras y fronterizas son de tamaños variables. Al final tendremos 5007 cuadrículas. Hay que excluir las pertenecientes a Álava y Navarra, las cuales no se han considerado en ningunos de los análisis realizados. La cuadrícula asignada a cada incendio hace referencia al lugar de inicio y por lo tanto hay que tener en cuenta que para incendios de cierto tamaño es probable que hayan afectado también a otras circundantes.

Figura 2. Cuadrículas 10x10 km basadas en el sistema de proyección UTM.



Para obtener una valoración más precisa de la incidencia de los incendios a nivel de cuadrículas se ha calculado la Frecuencia de Incendios y el Periodo de Rotación. Para el cálculo de la **Frecuencia de Incendios** se ha considerado el número de incendios (para la superficie forestal total) y el número de casos en que se ha visto afectado cada uno de los tipos de vegetación arbolada para los cálculos relativos a las frecuencias en el arbolado. Se define como el número de incendios/casos en 10.000 ha de superficie de referencia y año. El **Periodo de Rotación** se define como el número de años necesario para que se vea afectada por el fuego una superficie igual a la superficie forestal de referencia

1.2.5. Procedimiento de análisis.

Todos los cálculos matemáticos que se han realizado en este capítulo se han llevado a cabo en Microsoft Excel. En cuanto a las operaciones de análisis espacial y representación cartográfica, se ha utilizado el programa SIG ArcGIS 10.

1.3. Resultados.

1.3.1. Estimación de la superficie forestal con el MFE50.

Como podemos ver en la Figura 3, donde tenemos los mapas con la estimación de la superficie forestal en hectáreas de los 9 tipos de vegetación arbolada que hemos considerado, el *Pinus sylvestris* se distribuye por los bosques de montaña de la mitad norte del país, destacando la zona de los Pirineos, la Sierra de la Demanda y los Picos de Urbión, la Sierra de Guadarrama y también en la Sierra de Gúdar y los Montes Universales y Albarracín. Si nos fijamos en la Tabla 2 vemos como el *Pinus sylvestris* se distribuye principalmente por las ecozonas Pinar/Abetal (17,9%) y Quejigar (9,1%), con una superficie total de 1.074.106 ha (Tabla 3). En cuanto al *Pinus pinea* su área de distribución está situada en el sector litoral de Cataluña, en la zona de la Meseta Norte y en Andalucía, sobre todo en Sierra Morena y la Depresión del Guadalquivir. En

cuanto a su distribución por tipo de vegetación potencial, destaca únicamente en valores relativos su presencia en la ecozona Alcornocales, con un 6,6% del total de la superficie de esta ecozona.

El *Pinus halepensis* está presente en la ecozona Encinar Levantino (21,3%) y en menor medida en Coscojares (11,9%). Si nos fijamos en el mapa de distribución de las especies, vemos como el *Pinus halepensis* se distribuye por sobre todo por los sistemas montañosos próximos al Mediterráneo. Destaca su presencia en las provincias costeras de Cataluña y su penetración hacia la depresión del Ebro, en la zona interior del Levante y por la Cordillera Bética Septentrional. Su superficie total en España peninsular es de 1.859.712 ha.

Tabla 2. Distribución de las 9 clases de arbolado por tipo de vegetación potencial a la resolución 10x10 km (valores relativos %).

Ecozona	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Arbol.	Desarb.	Total. Forest.
<i>Pinar / abetal</i>	17,91	0,00	0,02	1,15	0,02	0,00	12,96	6,37	5,36	43,79	43,37	87,16
<i>Hayedos</i>	5,74	0,00	0,01	0,79	0,01	0,02	2,71	11,27	23,78	44,33	40,04	84,37
<i>Enebrales</i>	4,52	0,01	1,96	12,03	4,69	0,00	21,70	8,89	0,45	54,24	14,24	68,48
<i>Robledales</i>	0,65	0,00	0,00	0,20	10,53	10,47	6,44	7,98	6,53	42,80	22,00	64,80
<i>Rebollares</i>	6,64	0,04	0,00	1,06	5,47	0,06	1,60	21,33	4,66	40,86	34,07	74,93
<i>Quejigares</i>	9,08	0,46	0,98	6,04	0,78	0,00	2,57	14,62	2,18	36,71	15,90	52,61
<i>Enc. Levantino</i>	0,94	1,05	21,29	1,57	0,93	0,01	3,26	9,88	1,57	40,50	16,72	57,21
<i>Enc. Castell.</i>	0,31	1,28	3,56	1,14	2,99	0,00	1,80	15,32	1,27	27,67	14,94	42,61
<i>Enc. Suprame.</i>	0,60	0,60	3,74	5,91	3,13	0,00	4,65	13,12	0,90	32,66	15,52	48,18
<i>Enc. Lusitano</i>	0,00	2,03	0,03	0,00	1,83	1,78	0,32	40,30	1,05	47,35	17,95	65,30
<i>Enc. Manch.</i>	0,01	0,47	7,65	0,29	0,69	0,00	1,64	6,58	0,40	17,74	7,73	25,48
<i>Enc. Bético</i>	0,75	0,13	3,89	1,09	1,67	0,09	0,64	8,56	1,37	18,18	13,19	31,37
<i>Enc. Térmico</i>	0,00	0,93	3,42	0,00	0,32	1,54	0,33	9,36	3,05	18,95	11,05	30,00
<i>Alcornocales</i>	0,03	6,66	0,46	0,02	3,28	4,04	0,36	25,65	5,04	45,55	17,61	63,16
<i>Coscojares</i>	0,02	0,06	11,90	0,09	0,14	0,04	1,19	0,45	0,82	14,70	25,21	39,91

Por lo que se refiere al *Pinus nigra* su área de distribución se extiende por la zona de los pirineos, la zona de las sierras de Cazorla y Segura en las Cordilleras Béticas, y en el Sistema Ibérico. Destaca la ocupación de un 12% del total de la ecozona Enebrales, aunque la mayor superficie de esta especie la encontramos en la ecozona Quejigares (257.944 ha) y Encinar Supramediterráneo (232.236 ha). En cuanto al *Pinus pinaster* podemos ver que ocupa grandes extensiones de la comunidad gallega, sobre todo en el sector costero. Además, podemos destacar otros enclaves por donde se distribuye esta especie como las Cordilleras Béticas, la zona de Gredos y Guadarrama, la Meseta Castellana, la Serranía de Cuenca, etc. Destaca sobre todo la presencia del *Pinus pinaster* en la ecozona Robledales con un 10,5% y 392.310 ha.

En la clase *Eucalyptus*, donde hemos agrupado las distintas especies de Eucalipto, destacamos su presencia en una estrecha franja litoral en la zona del Mar Cantábrico, y sobre todo en las provincias de A Coruña y Pontevedra. En menor medida también tenemos presencia de estas especies en la comunidad autónoma de Extremadura y en la parte occidental de Andalucía, sobre todo en Huelva. Destacamos que esta clase ocupa unas 389.998 ha en la ecozona de Robledal, un 10,5% del total. En cuanto a la clase “*otras coníferas*”, donde están agrupadas las demás coníferas aparte de las 5 especies de *Pinus* que hemos citado, destaca su distribución

en la zona de los Pirineos, del Sistema Ibérico, algunos sectores del Sistema Central y de las Cordilleras Béticas, y en las provincias costeras Vascas.

Tabla 3. Distribución de las 9 clases de arbolado por tipo de vegetación potencial a la resolución 10x10 km (superficie en hectáreas).

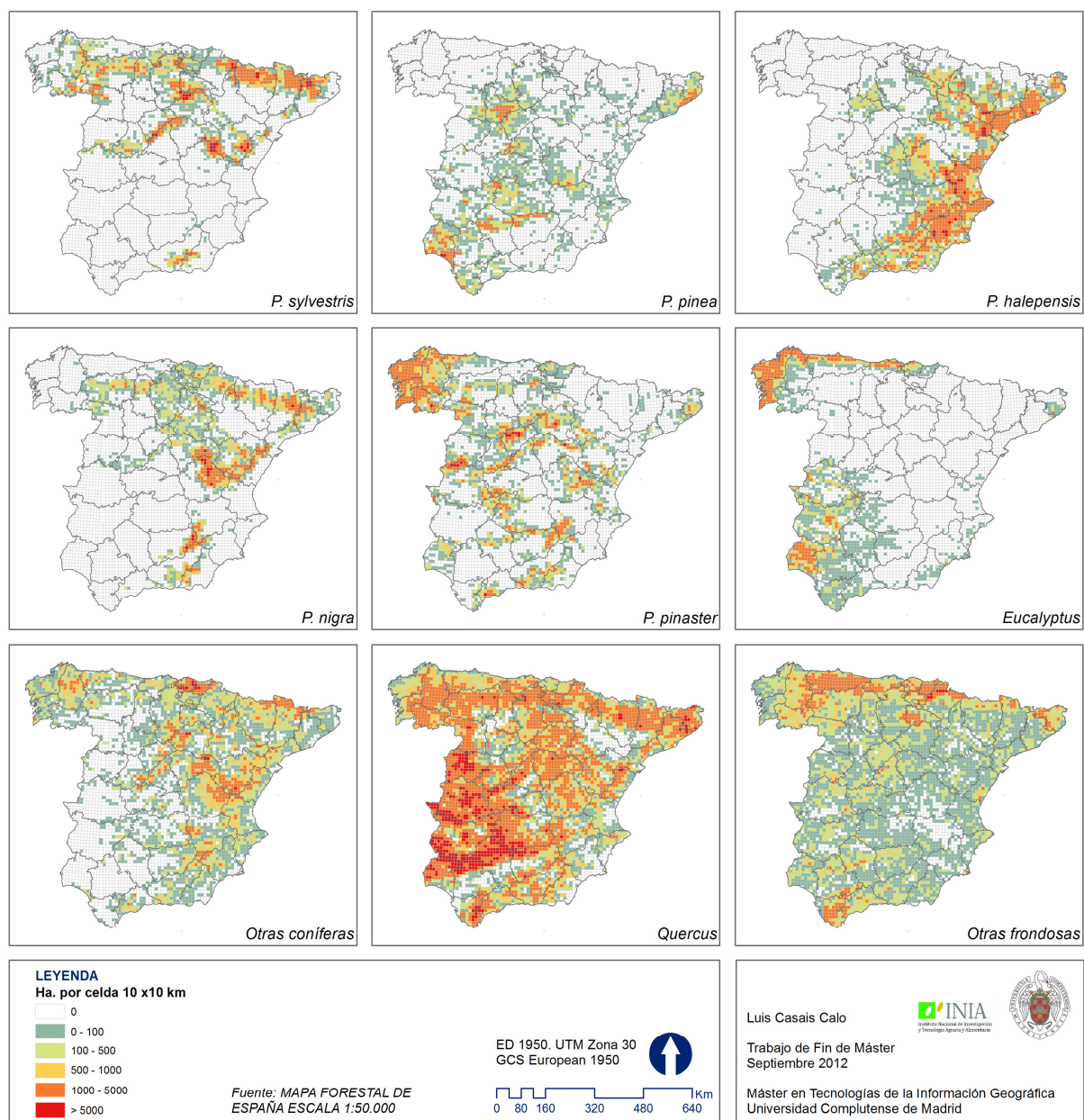
Ecozona	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Arbolado	Desarbol.	Total forest.	Área ecozona
<i>Pinar/abet.</i>	157106	17	191	10129	134	0	113741	55893	47024	384234	380501	764735	877354
<i>Hayedos</i>	78130	2	105	10742	123	237	36882	153383	323532	603138	544762	1147900	1360521
<i>Enebrales</i>	36133	86	15704	96209	37487	0	173631	71087	3609	433947	113898	547845	800000
<i>Robledales</i>	24102	84	6	7436	392310	389998	240068	297300	243426	1594730	819879	2414609	3726344
<i>Rebollares</i>	304185	1849	167	48666	250869	2645	73209	977687	213793	1873070	1561638	3434708	4584158
<i>Quejigares</i>	387867	19462	41654	257944	33244	71	109832	624384	92949	1567408	678688	2246096	4269482
<i>Enc. Levan.</i>	21024	23599	477437	35158	20813	230	73073	221713	35276	908324	375019	1283343	2243043
<i>Enc. Cast.</i>	16340	66698	185887	59738	155849	24	93883	799736	66258	1444412	780176	2224587	5220954
<i>Enc. Supr.</i>	23753	23490	147130	232236	123138	0	182962	516097	35554	1284359	610320	1894679	3932455
<i>Enc. Lusit.</i>	189	141103	2299	254	126974	123339	22087	2798332	72629	3287206	1246298	4533504	6942928
<i>Enc. Man.</i>	611	21693	349837	13423	31386	53	75011	300864	18079	810957	353277	1164233	4570079
<i>Enc. Bét.</i>	23480	4097	121903	33981	52171	2819	19951	267946	42911	569257	413176	982433	3131751
<i>Enc. Térm.</i>	0	22327	82568	52	7702	37112	7988	225802	73595	457147	266569	723716	2412239
<i>Alcornocal</i>	399	103264	7168	357	50776	62690	5524	397659	78178	706015	272968	978983	1550063
<i>Coscojares</i>	786	2001	425776	3103	4951	1406	42655	16018	29184	525880	901700	1427580	3576571
TOTAL	1074106	439196	1859712	809429	1288156	621685	1271145	7725194	1380945	16469569	9339599	25809168	49669740

Las especies del genero *Quercus* también han sido agrupadas en una misma clase. En cuanto a su distribución vemos que prácticamente es generalizada en toda la península, con una superficie total de 7.725.194 ha, salvo los sectores con mayor presencia de cultivos agrícolas, como pueden ser los valles del Ebro y del Guadalquivir. Por destacar algún lugar, podemos decir que su presencia es mayor en las provincias costeras catalanas, en la zona de Sierra Morena y del Sistema Central. Destacar que estas especies ocupan el 40,3% del total de superficie de la ecozona Encinar Lusitano. Por último tenemos la clase “*otras frondosas*”. Vemos que existe presencia de frondosas por casi toda la España peninsular. Destacan su presencia en las provincias bañadas por el Cantábrico y que ocupa un 23,8% de la superficie la ecozona Hayedos.

Si nos fijamos de nuevo en la Tabla 2, podemos ver como el total de la superficie forestal, que es la suma de la superficie arbolado y la desarbolada, tiene una cobertura muy variable dependiendo en la zona de vegetación potencial en la que nos encontremos. Por ejemplo tenemos unos valores de cobertura muy altos en zonas de Pinar/Abetal (87,1%) y Hayedos (84,4%). Por el contrario ecozonas como el Encinar Manchego (25,5%) o el Encinar Térmico (30%) muestran unos valores relativos muy bajos. Evidentemente esto está muy ligado a si las ecozonas se corresponden con lugares montañosos, donde habrá mayor cobertura forestal, o lugares con mayor ocupación humana con zonas de cultivos agrícolas por ejemplo. Si nos fijamos en la Figura 1 vemos que ecozona Pinar/Abetal se corresponde con el sector de los Pirineos, por lo que su porcentaje de ocupación forestal será mayor en contraposición con otras zonas.

Figura 3. Mapas con la estimación de la superficie forestal en hectáreas para los 9 tipos de vegetación a partir del Mapa Forestal de España escala 1:50.000 (resolución 10x10 km).

DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES FORESTALES



1.3.2. Datos de incendios (1974-2005).

En primer lugar, analizando los datos totales para el periodo 1974-2005, vemos en estos años (Tabla 5 y 6) se han producido un total de 343.723 incendios, de los cuales 187.363 han afectado a zona arbolada. Estos incendios han afectado a 5.921.761 ha de superficie forestal y 2.201.365 ha de superficie arbolada. Teniendo en cuenta que la superficie total forestal que he estimado es de unos 25.809.168 ha, nos hacemos una idea de la enorme incidencia del fuego en la España peninsular. Pero los incendios no se han producido de manera uniforme por todo

el territorio sino que como vemos en la Figura 4 destaca el noroeste peninsular tanto es superficie quemada como en número de incendios, sobre todo la provincia de Pontevedra. Otros sectores que podemos destacar son la Cordillera Cantábrica, algún sector del Sistema Central y todo el litoral Mediterráneo.

Figura 4. Número de incendios y superficie quemada total por cuadrícula 10x10 km para el periodo 1974-2005.

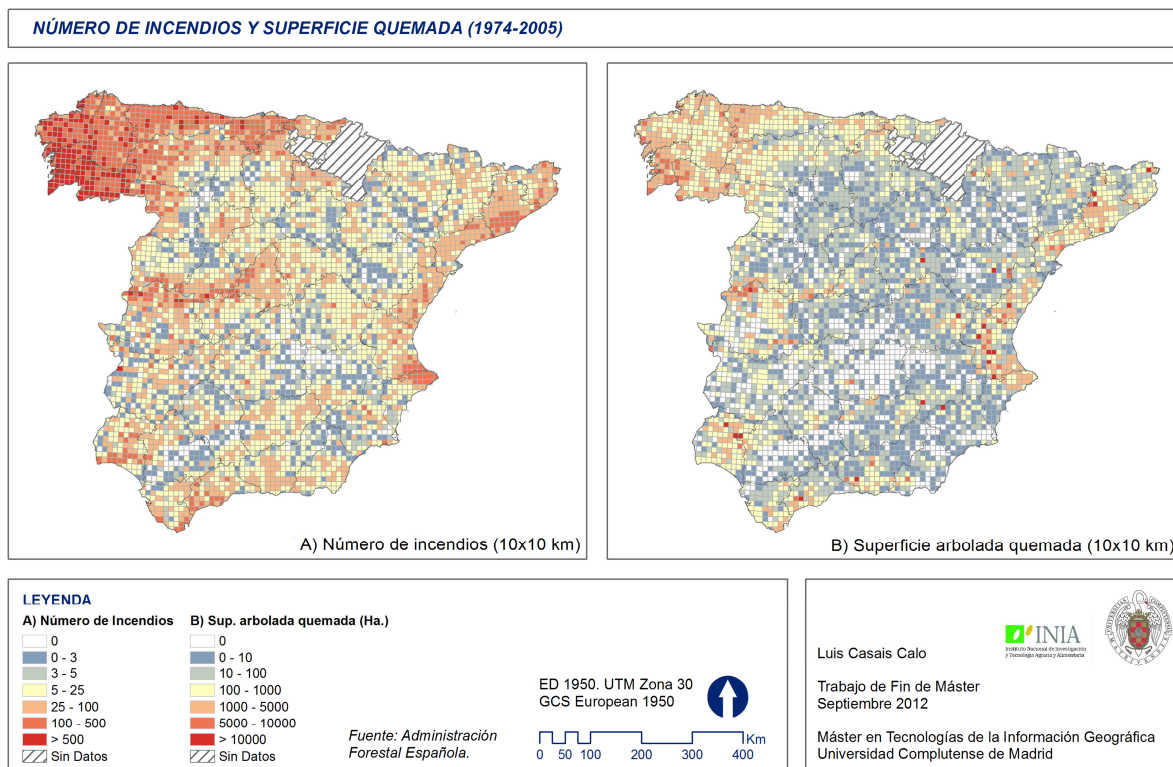


Tabla 4. Superficie arbolada quemada y número de casos totales para los 9 tipos de vegetación arbolada (1974-2005).

Clases	Sup. arbolada		Nº de casos	
	Ha	%	Casos	%
<i>Pinus sylvestris</i>	177472	8,06	8222	4,39
<i>Pinus pinea</i>	64632	2,94	4669	2,49
<i>Pinus halepensis</i>	522764	23,75	17208	9,18
<i>Pinus nigra</i>	91442	4,15	3534	1,89
<i>Pinus pinaster</i>	695763	31,61	63532	33,91
<i>Eucalyptus</i>	224350	10,19	36373	19,41
<i>Otras coníferas</i>	105926	4,81	14181	7,57
<i>Quercus</i>	268710	12,21	26253	14,01
<i>Otras frondosas</i>	50303	2,29	13391	7,15
TOTAL	2201365	100	187363	100

Tabla 5. Número de casos por especie y por ecozona para el periodo 1974-2005 a la resolución de 10x10 km.

Ecozona	Nº de casos	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Arbolado	Arbolado (%)
<i>Pinar / abet.</i>	1238	247	2	22	37	13	0	70	81	43	515	0,27
<i>Hayedos</i>	8519	778	1	3	77	47	77	461	1399	785	3628	1,94
<i>Enebrales</i>	1012	65	2	51	226	153	0	54	27	33	611	0,33
<i>Robledales</i>	153204	1937	69	11	260	47509	33716	11788	7337	4307	106934	57,07
<i>Rebollares</i>	80336	3662	45	38	295	10349	265	1273	9576	3600	29103	15,53
<i>Quejigares</i>	7573	915	255	439	1048	433	6	109	948	461	4614	2,46
<i>Enc. Levant.</i>	14433	79	600	7562	172	219	3	32	815	325	9807	5,23
<i>Enc. Castell.</i>	14612	233	462	1431	440	1171	2	93	1292	972	6096	3,25
<i>Enc. Supram.</i>	6424	175	275	855	720	816	5	107	413	446	3812	2,03
<i>Enc. Lusit.</i>	17861	29	612	60	9	1271	798	50	1819	512	5160	2,75
<i>Enc. Manch.</i>	5921	21	138	1433	105	225	9	25	212	347	2515	1,34
<i>Enc. Bético</i>	7392	59	62	920	97	377	107	20	534	378	2554	1,36
<i>Enc. Térm.</i>	9633	8	386	2492	19	185	530	16	515	261	4412	2,35
<i>Alcornoc.</i>	9485	7	1618	394	6	721	811	64	1204	388	5213	2,78
<i>Coscojares</i>	5012	5	13	1371	18	22	7	16	34	415	1901	1,01
TOTAL	343723	8222	4669	17208	3534	63532	36373	14181	26253	13391	187363	100

Tabla 6. Superficie quemada (hectáreas) por tipo de vegetación arbolada y ecozona para el periodo 1974-2005 a la resolución de 10x10 km.

Ecozona	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Forestal	Arbolado	Arb. (%)	No arb.	No forest.
<i>Pinar / abet.</i>	10963	15	53	1951	483	0	342	568	58	27710	14433	0,66	12069	381
<i>Hayedos</i>	9329	0	2	434	970	688	3253	6471	3127	117687	24273	1,10	93481	104
<i>Enebrales</i>	387	13	653	2176	10849	0	106	78	64	19664	14327	0,65	5021	1078
<i>Robledales</i>	31662	238	80	1252	316345	135975	86206	14452	14133	1410043	600343	27,27	797944	1851
<i>Rebollares</i>	93608	609	416	4771	178867	3624	11791	79964	13348	1525654	386996	17,58	1130508	20923
<i>Quejigares</i>	14615	1050	10906	19670	6851	2693	516	13615	2149	146642	72064	3,27	66078	48402
<i>Enc. Levant.</i>	1886	2623	275559	6794	12040	11	92	18689	266	647965	317959	14,44	279536	17638
<i>Enc. Castell.</i>	7562	4664	38912	35478	18344	38	623	19846	4757	337793	130224	5,92	201382	43293
<i>Enc. Supram.</i>	4259	1433	26390	10832	26798	10	1283	4646	1228	157437	76880	3,49	76059	32345
<i>Enc. Lusit.</i>	648	24345	843	16	47213	44206	526	64427	3191	637043	185416	8,42	441930	18988
<i>Enc. Manch.</i>	53	617	62446	4687	11681	7	43	1154	554	163312	81241	3,69	64580	22103
<i>Enc. Bético</i>	2007	662	23828	2619	22076	641	496	7150	829	144128	60308	2,74	80491	11419
<i>Enc. Térm.</i>	16	7023	51046	529	5609	9181	107	7527	1759	231912	82795	3,76	143248	11968
<i>Alcornoc.</i>	422	21301	5213	59	37489	27271	461	28225	4383	267958	124825	5,67	137327	9846
<i>Coscojares</i>	56	40	26419	174	150	6	82	1900	457	86812	29283	1,33	53475	8196
TOTAL	177472	64632	522765	91442	695764	224351	105927	268711	50303	5921761	2201365	100	3583130	248534

En cuanto al análisis de la incidencia del fuego en las distintas clases de vegetación arbolada que hemos considerado (Tabla 4), destacan sobre manera las afectación de las coníferas con un 75,3% de la superficie quemada arbolada y un 59,4% del número de casos en relación con el total de casos producidos en el arbolado. La especie de conífera más afectada ha sido el *Pinus pinaster* con 695.763 ha quemadas y un 31,6% de la superficie arbolada quemada, y con un 33,9% del número de casos en el arbolado, o lo que es lo mismo 63.532 casos. Destacar también el *Pinus halepensis* con 522.764 ha afectadas y 17.208 casos. De las frondosas se ha visto afectado un 24,7% del total de superficie arbolada afectada y un 40,6% del número de casos. De estos porcentajes las especies del género *Eucalyptus* han supuesto un 10,2% de la superficie arbolada afectada (224.350 ha.) y el 19,4% del número de casos en el arbolado (36.373 casos) y los *Quercus* un 12,2% (268.710 ha) y un 14% (26.253 casos) respectivamente.

Si nos fijamos en las Figuras 5 y 6 vemos la distribución espacial de los incendios, tanto del número de casos como de la superficie afectada. Las áreas afectadas por el *Pinus sylvestris* las encontramos principalmente en las áreas de montaña de la mitad norte de la península, destacando las Sierras Orientales Gallegas. El *Pinus pinea* en general no se ha visto muy afectado ni en número total de incendios ni en superficie quemada. Por ejemplo, la superficie afectada es del 2,9% del total de arbolado quemado y un 2,5% del total de casos en el arbolado. Pero podemos destacar algunas áreas de la Meseta Norte, de la zona de Huelva o de alguna zona costera de Cataluña. En cuanto al *Pinus halepensis* destaca su afectación a lo largo de todo el litoral mediterráneo, sobre todo en el sector del Encinar Levantino con 7.562 casos y 275.559 ha quemadas. En total presenta unas 522.764 ha afectadas (23,7% del arbolado afectado) y 17.208 casos (9,2% del total de casos en el arbolado). El *Pinus nigra* tampoco ha sido de las especies más afectadas, pudiendo destacar algunas zonas de los Pirineos, del Cantábrico Oriental y del Sistema Ibérico. La superficie de *Pinus nigra* afectada fue del 4,1% del total de arbolado quemado y del 1,9% del total de casos en el arbolado. El *Pinus pinaster* es sin duda una de las especies más afectadas por los incendios forestales en la península. Las áreas más afectadas se sitúan en el Noroeste de la península, destacando sobre todo la provincia de Pontevedra, el sur de A Coruña y la parte occidental de Ourense, donde tenemos valores superiores a 1000 ha por cuadrícula 10x10 km. Los datos hablan por si solos, ya que como vemos en la Tabla 4, se han quemado un total de 695.763 ha de *Pinus pinaster*, lo que supone un 31,6% del total del arbolado afectado, en 63.532 casos. En la ecozona de Robledal será donde la afectación es mayor con 316.345 ha quemadas y 47509 casos. La clase *otras coníferas* se ha visto afectada en las provincias del Cantábrico y en la zona de Galicia, aunque en general no hay cuadrículas que superen las 1000 ha quemadas y pocas que superen los 100 casos.

En cuanto a las zonas en las que se han visto afectadas las especies del género *Eucalyptus* destacan sobre todo el litoral Cantábrico, la costa gallega, sobre todo en la provincia de Pontevedra, y la zona de Huelva. Destacar que los incendios en estas especies suponen el 19,4% del total de casos en el arbolado y que en muchas de las cuadrículas de los sectores afectados se superan los 100 casos. Las especies del género *Quercus* se han visto afectadas sobre todo en la mitad oeste de la península y en Cataluña. Aunque hay pocas cuadrículas que sobrepasen las 1000 ha afectadas, al estar tan extendida la afectación por toda la península la superficie afectada es grande, en concreto de 268.710 ha. Algo parecido ocurre con las

frondosas que no son ni *Eucalyptus* ni *Quercus*. Al ser un gran número de especies la afectación se extiende por toda la península, aunque lo hace en mayor medida por la zona de Asturias. Destacar que esta se han visto afectadas 50.303 ha (2,3% del arbolado afectado) y se han producido 13.391 casos (7,1% del total de casos en el arbolado).

Figura 5. Mapas de los 9 tipos de vegetación arbolada con el número de casos por celda 10x10 km para el periodo 1974-2005.

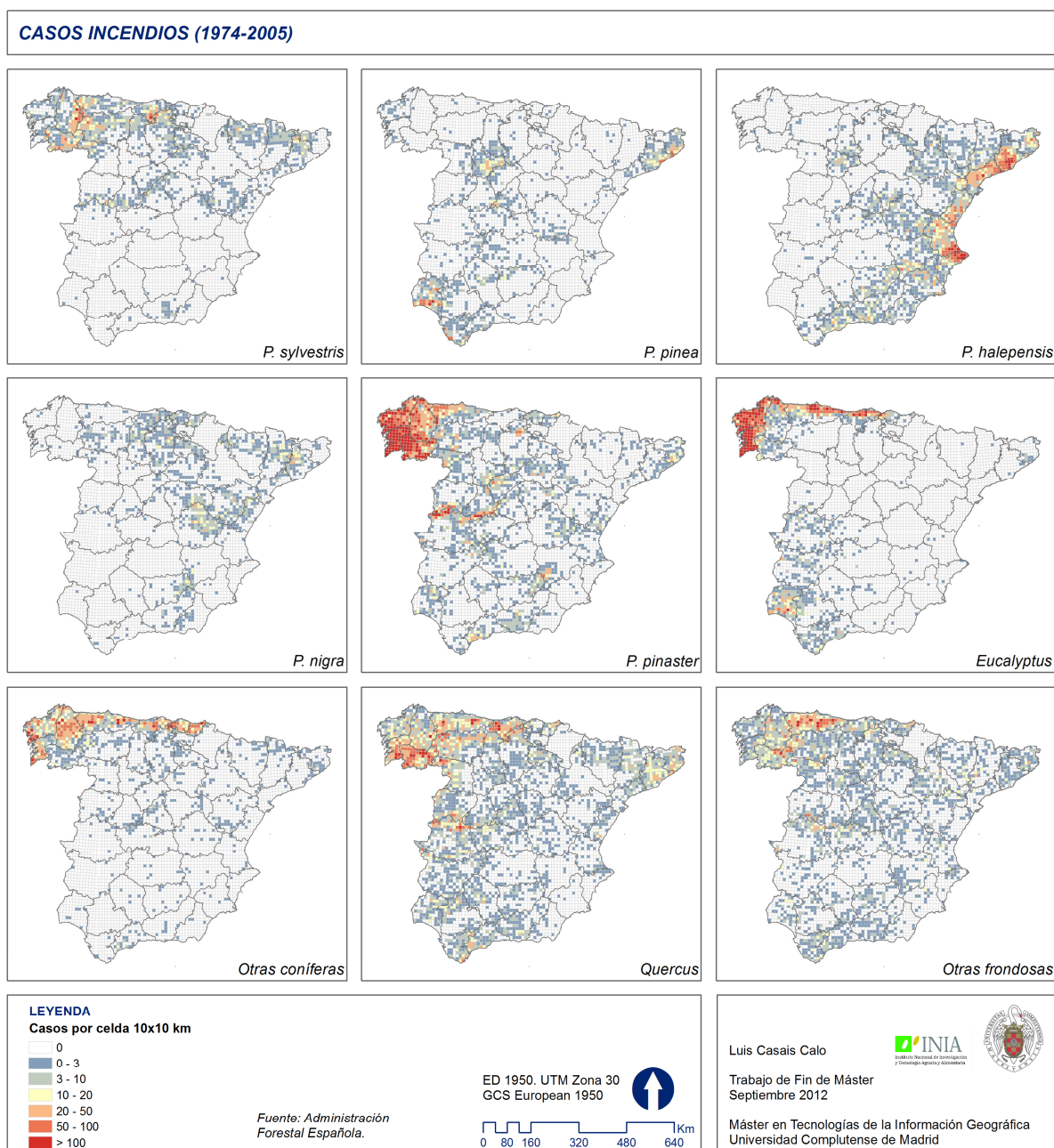
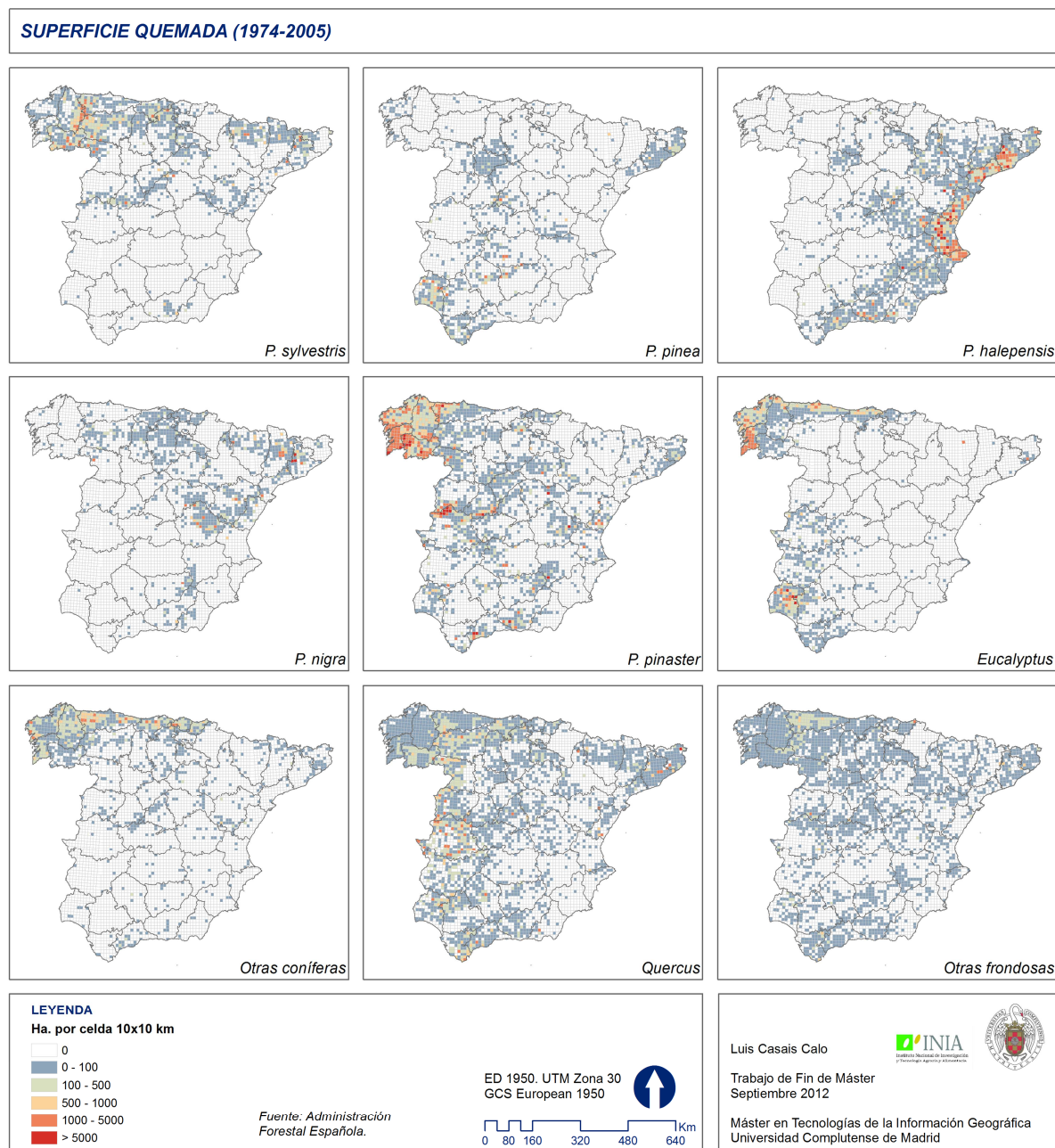


Figura 6. Mapas de los 9 tipos de vegetación arbolada con la superficie quemada en hectáreas por celda 10x10 km para el periodo 1974-2005.



En cuanto al cálculo de la Frecuencia de Incendios y el Periodo de Rotación, vemos los resultados en las Tablas 7 y 8 donde se han calculado estas dos variables para las 9 clases de vegetación arbolada y los 15 tipos de vegetación potencial. Dichas variables no se han calculado cuando la superficie forestal de alguna de las 9 clases era inferior a 100 ha, cuando la superficie quemada era inferior a 50 ha y cuando el número de casos no superaba 4, por considerar estos datos poco significativos. En cuanto a la **Frecuencia de Incendios**, que se define como el numero de casos en 10.000 ha de superficie de referencia y año, vemos como destacan sobre las demás clases el *Pinus pinaster* y los *Eucalyptus* con una media y una mediana de frecuencias mucho más altas que el resto de especies. En concreto con 15,4 y 18,3

incendios en 10.000 ha por año respectivamente. Los valores más bajos están en la clase *Quercus* y en la *Pinus nigra*. En cuanto al **Periodo de Rotación** (número de años necesario para que se vea afectada por el fuego una superficie igual a la de referencia), son de nuevo las clases *Pinus pinaster* y los *Eucalyptus* las que requieren menor número de años para que arda una superficie igual a la superficie forestal de referencia.

Tabla 7. Frecuencia de incendios (número de casos en 10.000 ha de superficie de referencia y año) para los 9 tipos de vegetación arbolada y los 15 tipos de vegetación potencial. Periodo 1974-2005.

Ecozona	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Arbolado
<i>Pinar / abetal</i>	0,60		1,72	1,10	21,65		0,22	0,41	0,37	0,49
<i>Hayedos</i>	1,54			1,44	37,22	53,89	6,81	2,38	1,20	2,54
<i>Enebrales</i>	0,76		1,37	0,91	1,02		0,12	0,17	4,07	0,55
<i>Robledales</i>	13,43	164,44	37,05	7,48	37,83	26,97	15,06	5,45	4,75	18,97
<i>Rebollares</i>	3,99	4,88		1,76	12,40	20,41	5,94	3,24	4,52	4,82
<i>Quejigares</i>	0,69	5,05	4,36	1,57	2,23		0,27	0,42	2,02	1,02
<i>Enc. Levant.</i>	1,53	8,47	5,78	1,45	4,10	4,33	0,22	1,05	1,70	3,58
<i>Enc. Castell.</i>	2,22	2,31	3,06	1,42	2,98		0,30	0,51	3,54	1,29
<i>Enc. Supram.</i>	0,51	3,46	2,04	0,94	1,63		0,14	0,19	4,30	0,89
<i>Enc. Lusitano</i>	13,39	1,18	6,83		5,61	1,85	0,71	0,30	3,07	0,72
<i>Enc. Manche.</i>		2,04	1,31	1,71	1,54			0,19	6,76	0,89
<i>Enc. Bético</i>	1,10	2,40	2,94	0,84	2,53	11,29	0,35	0,51	2,69	1,41
<i>Enc. Térmico</i>		4,21	7,12	24,20	11,97	4,88	0,49	0,85	1,21	2,53
<i>Alcornocales</i>	5,81	5,05	8,23		4,83	4,68	2,17	1,22	1,49	2,88
<i>Coscojares</i>	0,47	1,69	0,93	0,77	1,08		0,09	0,27	4,88	0,93
MEDIA	2,39	3,32	2,89	1,36	15,41	18,28	3,49	1,06	3,03	3,56
MEDIANA	1,53	3,84	3,06	1,44	4,10	8,09	0,33	0,51	3,07	1,29

Tabla 8. Periodo de rotación (número de años necesario para que se vea afectada por el fuego una superficie igual a la de referencia) para los 9 tipos de vegetación arbolada y las 15 ecozonas. Periodo 1974-2005.

Ecozona	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Arbolado
<i>Pinar / abetal</i>	514,03		2210,25	198,79	74,95		9447,10	4614,99	10051,96	760,86
<i>Hayedos</i>	385,94			1436,44	49,10	47,49	189,75	509,19	1809,11	563,80
<i>Enebrales</i>	3501,99		215,59	728,58	1328,82		8880,74	7115,22	2296,50	1130,58
<i>Robledales</i>	55,17	17,45	16,12	259,06	39,69	91,68	91,13	766,08	666,55	93,48
<i>Rebollares</i>	98,88	252,53		324,43	44,62	83,69	199,74	433,33	581,65	164,70
<i>Quejigares</i>	547,76	837,72	49,70	173,64	79,02		6182,28	1312,13	700,88	320,34
<i>Enc. Levant.</i>	175,66	206,36	55,15	219,78	57,25	23,76	7500,59	649,25	911,46	100,15
<i>Enc. Castell.</i>	240,39	453,37	202,58	175,09	189,63		12378,45	1456,16	1123,13	532,58
<i>Enc. Supram.</i>	1411,55	554,34	209,57	652,02	189,45		6926,37	7049,04	1025,35	641,35
<i>Enc. Lusitano</i>	52,76	225,33	91,79		69,36	136,76	1507,17	1175,94	649,78	537,55
<i>Enc. Manche.</i>		1128,72	125,01	160,53	259,17			5501,08	742,28	275,44
<i>Enc. Bético</i>	273,40	76,87	106,25	417,28	51,86	129,51	4288,55	1787,93	2753,74	225,53
<i>Enc. Térmico</i>		106,63	82,65	18,75	44,88	162,65	3576,35	866,41	1236,37	255,53
<i>Alcornocales</i>	24,60	156,25	88,74		35,18	53,95	318,05	284,43	801,55	136,14
<i>Coscojares</i>	722,48	1055,68	660,29	1151,90	772,56		16023,89	998,17	1857,99	806,94
MEDIA	193,67	215,84	113,54	283,24	59,23	88,66	383,98	918,56	875,14	239,12
MEDIANA	273,40	238,93	106,25	259,06	69,36	87,68	5235,41	1175,94	1025,35	320,34

Capítulo 2

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA: DATOS METEOROLÓGICOS OBSERVADOS Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS

2.1. Introducción.

En este capítulo se presentan y se comparan brevemente los datos climáticos disponibles a dos resoluciones (10x10 km y 0.5x0.5º) correspondientes a la Malla Climática de España Peninsular y la Atlas Climático Digital de la Península Ibérica, y los basados en los datos climáticos AEMET para el Periodo de Control y los Escenarios Climáticos A2 y B2, que son la base utilizada en el calculo de los ratios del trabajo de Vázquez *et al.*, (2012), los cuales aplicaremos en el capítulo 4 para realizar las estimaciones del Periodo de Rotación de incendios en escenarios climáticos futuros. El objetivo general es presentar y comparar las distintas fuentes y ver sus patrones espaciales y su comportamiento en cada tipo de vegetación.

2.2. Material y métodos.

2.2.1. Datos climáticos observados.

Los datos observados han sido extraídos de dos fuentes. Por un lado tenemos la Malla Climática de España Peninsular y por el otro el Atlas Climático Digital de la Península Ibérica.

En cuanto a la **Malla Climática de España Peninsular** (CIFOR-INIA, 2008), se trata de una malla de 1x1 km, donde para cada cuadrícula podemos consultar una serie de variables climáticas. En mi caso he seleccionado la temperatura media anual en ºC y la precipitación acumulada del año en mm. Dicha malla está basada en los datos de Gonzalo (2010). Los datos empleados fueron valores mensuales promedio del periodo 1951-1999. Se utilizaron valores mensuales termopluviométricos de 1350 estaciones. Para tener estos datos en las resoluciones 10x10 km y 0,5x0,5 º lo que hice es intersectar la malla 1x1 km con las mallas 10x10 km y 0,5x0,5 º y después hacer el promedio de los datos de cada celda.

Por otro lado, el **Atlas Climático Digital de la Península Ibérica** (Ninyerola *et al.*, 2005) es un conjunto de mapas digitales en formato raster de temperatura media del aire (mínima, máxima y media), precipitación y radiación solar para toda la Península Ibérica con una resolución temporal anual y mensual, y una resolución espacial de 200 m. Los datos proceden de las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología del periodo 1950-1999. En mi caso descargue los mapas correspondientes a la temperatura media anual y precipitación anual acumulada. Para la visualización y descarga de los mapas en formato raster es necesario tener el Sistema de Información Geográfica MiraMon (Pons, 2004). Una vez descargados los mapas

que necesitaba tuve que convertirlos a formato tiff con el conversor del MiraMon. Después los pase a ArcMap y allí, para eliminar los datos de agua y que así no interfirieran en el resultado final, lo que hice fue reclasificar los raster de precipitaciones y temperatura en una capa booleana de unos y ceros para después multiplicarla por los tiff originales y eliminar los datos de mar sin afectar a los de la península. Por último, tuve que utilizar la herramienta de geoprocesamiento “*Zonal Statistics as Table*” para resumir los valores del raster en las resoluciones de 10x10 km y 0,5x0,5 º.

2.2.2. Modelos climáticos regionales.

Estos datos fueron generados en el proyecto PRUDENCE (2005) que tiene como principal objetivo proporcionar proyecciones regionalizadas de cambio climático para Europa y explorar la incertidumbre asociada a estas proyecciones. Con los Modelos Climáticos Regionales se realizaron simulaciones climáticas correspondientes a periodos de 31 años (AEMET, 2007). El denominado *experimento de control* abarca el periodo de 1961 a 1990 y los *experimentos de escenario* comprenden el periodo 2070 a 2100. El primero (1961-1990) considerando la evolución observada del contenido global de CO₂ y de aerosoles sulfato y el segundo (2071-2100) con las evoluciones correspondientes a los escenarios de emisiones antropogénicas SRES-A2 y SRES-B2 del IPCC (IPCC, 2001).

Los datos que he utilizado son de nuevo la temperatura media anual y la precipitación media acumulada en un año para el Periodo de Control y para los Escenarios A2 y B2. Todos ellos en la resolución de 0,5x0,5 º para la España peninsular.

2.3. Resultados.

En la Tabla 9 podemos comparar los valores medios de temperatura media anual y precipitación media anual acumulada de todas las fuentes antes descritas para los 15 tipos de vegetación potencial. Además, en las Figuras 8 y 9 también podemos comparar los datos de temperatura y precipitación de la Malla Climática de España Peninsular, del Atlas Climático Digital de la Península Ibérica y de los datos AEMET Periodo de Control a dos resoluciones (10x10 km y 0,5x0,5 º). Si nos fijamos en las temperaturas medias vemos que los valores más altos se alcanzan en la zona del Encinar Térmico y los Alcornocales, mientras que los valores más bajos están en el sector del Pinar/Abetal. Destacar que los escenarios predicen aumentos de temperatura acusados en todas las ecozonas, sobre todo en las predicciones del escenario A2 (Figura 7). En cuanto a las precipitaciones destacar que en los tipos de vegetación potencial de Pinar/Abetal, Hayedos y Robledales encontramos valores por encima de 1000mm para los datos observados, y valores bajos para la mayoría de los Encinares y los Coscojares. Los escenarios pronostican un descenso generalizado para todos los tipos de vegetación potencial (Figura 7). En general se ve puede ver que los escenarios predicen un aumento de las temperaturas y un descenso de las precipitaciones en el conjunto de la España peninsular más acusados en el escenario A2 (Figura 10).

Tabla 9. Promedio de la temperatura media anual y de la precipitación media anual acumulada para los tipos de vegetación potencial a resolución 0,5x0,5 °. Datos climáticos correspondientes a Malla Climática de España Peninsular, Atlas Climático Digital de la Península Ibérica, datos AEMET Periodo de Control y Escenarios B2 y A2.

Ecozona	MALLA CLIMÁTICA		ACDPI		AEMET CONTROL		AEMET B2		AEMET A2	
	Tm	Prec	Tm	Prec	Tm	Prec	Tm	Prec	Tm	Prec
<i>Pinar / abetal</i>	7,5	1140,8	7,0	952,2	5,8	930,1	8,9	858,4	10,0	812,6
<i>Hayedos</i>	9,6	1412,6	9,9	1333,9	9,2	986,5	12,0	886,6	13,0	829,4
<i>Enebrales</i>	11,0	548,6	11,2	525,5	9,4	497,7	12,6	413,8	13,7	400,3
<i>Robledales</i>	12,0	1331,9	12,1	1343,9	11,8	1072,0	14,2	972,4	15,2	921,7
<i>Rebollares</i>	10,5	925,1	10,6	895,9	9,4	767,1	12,5	695,2	13,5	665,5
<i>Quejigares</i>	10,7	683,6	10,8	662,4	9,2	709,1	12,3	624,5	13,3	602,9
<i>Enc. Levant.</i>	14,5	620,9	14,5	599,2	14,4	571,7	17,4	467,0	18,3	438,6
<i>Enc. Castell.</i>	12,3	537,0	12,3	539,7	11,5	511,1	14,8	443,8	15,9	425,1
<i>Enc. Supram.</i>	11,4	537,5	11,6	516,8	10,2	461,5	13,5	396,0	14,6	387,2
<i>Enc. Lusitano</i>	15,6	629,0	15,5	622,8	15,3	382,6	18,7	318,0	19,9	284,1
<i>Enc. Manche.</i>	13,7	460,5	13,8	457,2	12,5	375,5	15,9	304,5	17,0	283,9
<i>Enc. Bético</i>	15,2	604,0	15,1	585,9	14,7	343,4	18,1	275,9	19,3	232,5
<i>Enc. Térmico</i>	17,2	584,3	17,2	580,7	17,7	341,4	20,8	263,3	21,9	237,3
<i>Alcornocales</i>	17,0	765,6	16,8	751,4	16,4	496,3	19,3	403,7	20,3	377,2
<i>Coscojares</i>	15,1	368,8	15,0	375,4	14,0	329,3	17,2	273,7	18,1	246,1

Figura 7. Gráficos de comparación del promedio de temperatura media anual y promedio de precipitación media anual acumulada entre datos AEMET Periodo de Control y Escenarios B2 y A2 para los tipos de vegetación potencial a resolución 0,5x0,5 °.

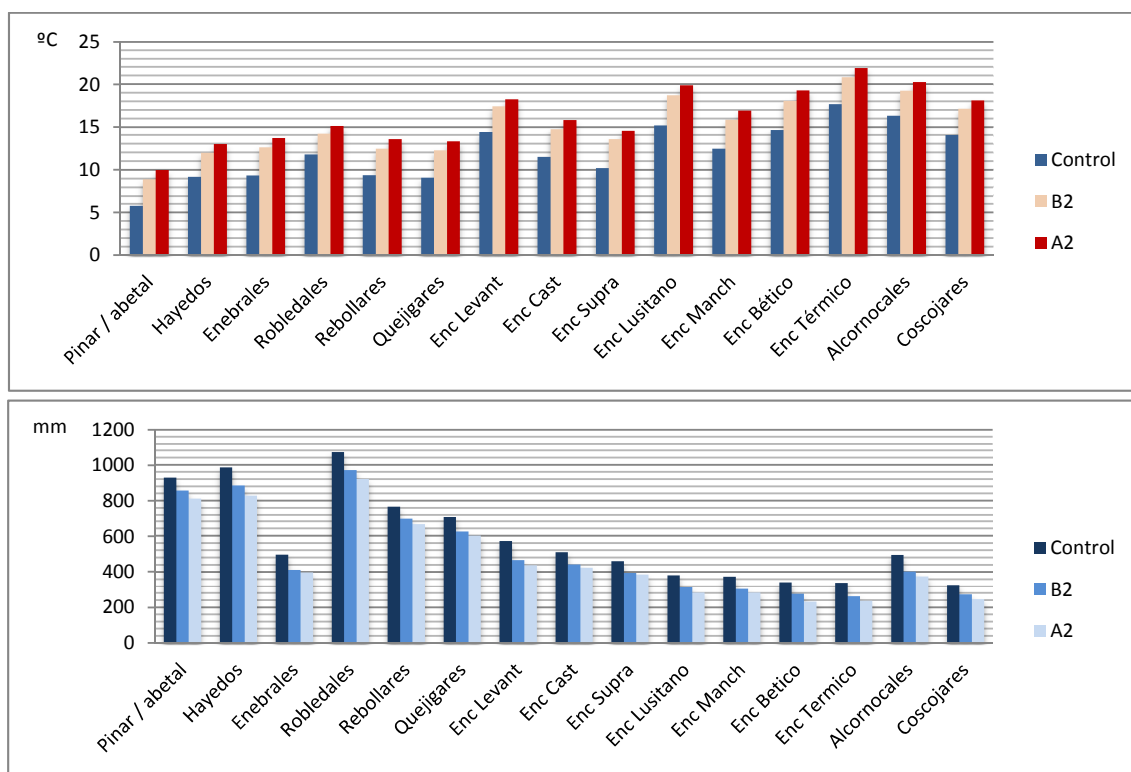


Figura 8. Mapas de la temperatura media anual en °C a resolución 10x10 km y 0,5x0,5 °. Comparación de datos climáticos correspondientes a Malla Climática de España Peninsular, Atlas Climático Digital de la Península Ibérica y datos AEMET Periodo de Control.

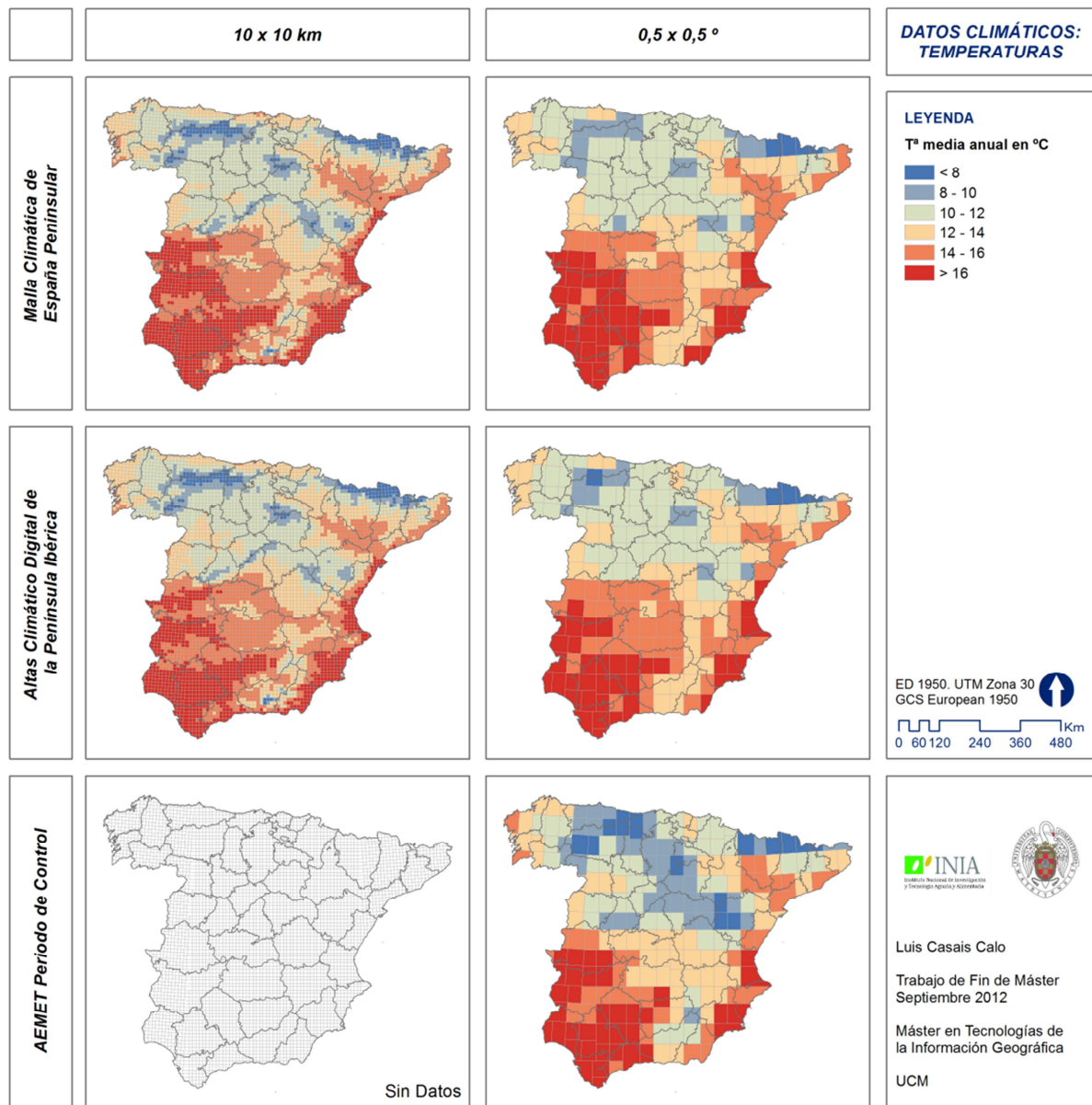


Figura 9. Mapas de la precipitación media anual acumulada en mm a resolución 10x10 km y 0,5x0,5 °. Comparación de datos climáticos correspondientes a Malla Climática de España Peninsular, Atlas Climático Digital de la Península Ibérica y datos AEMET Periodo de Control.

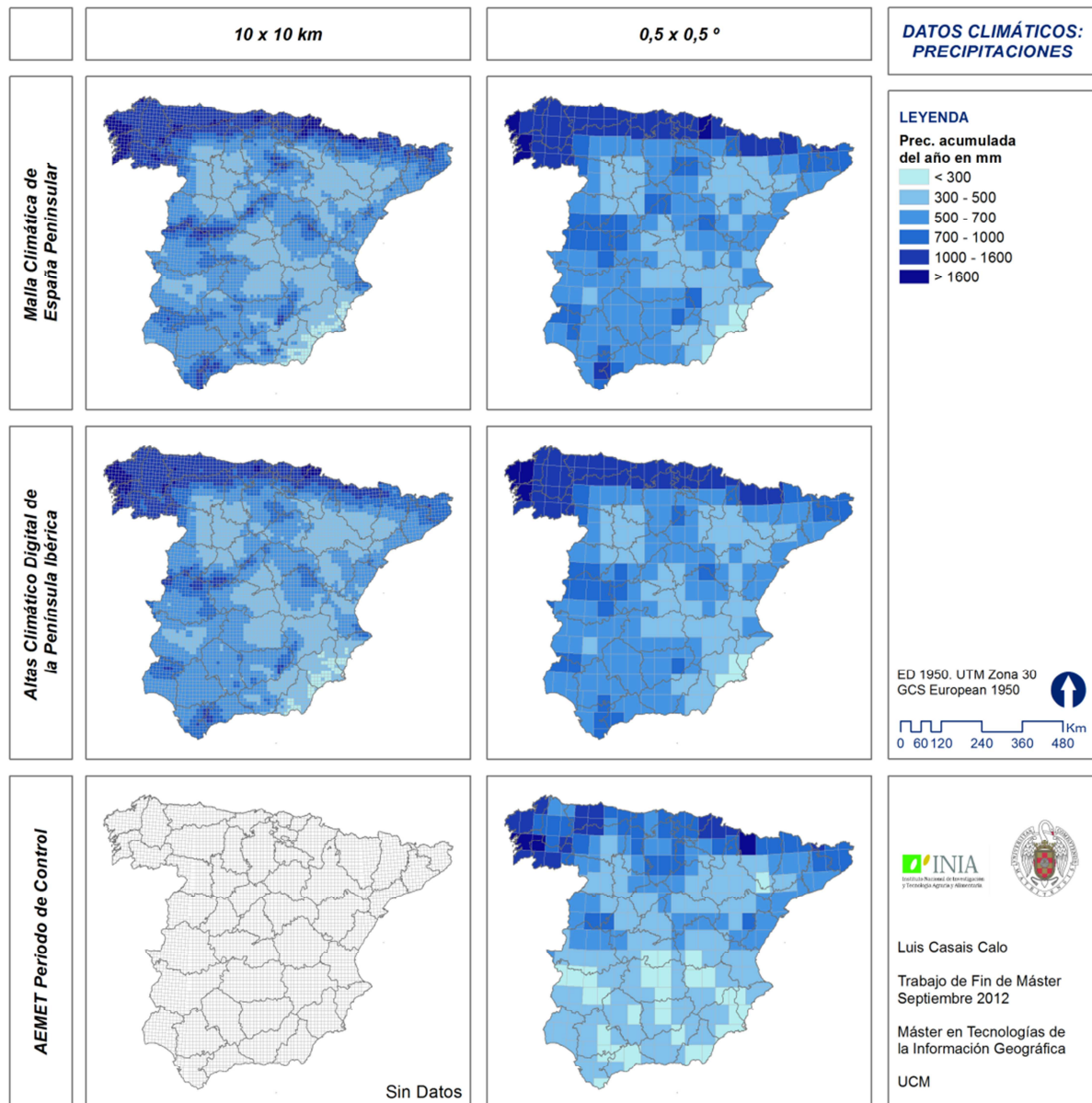
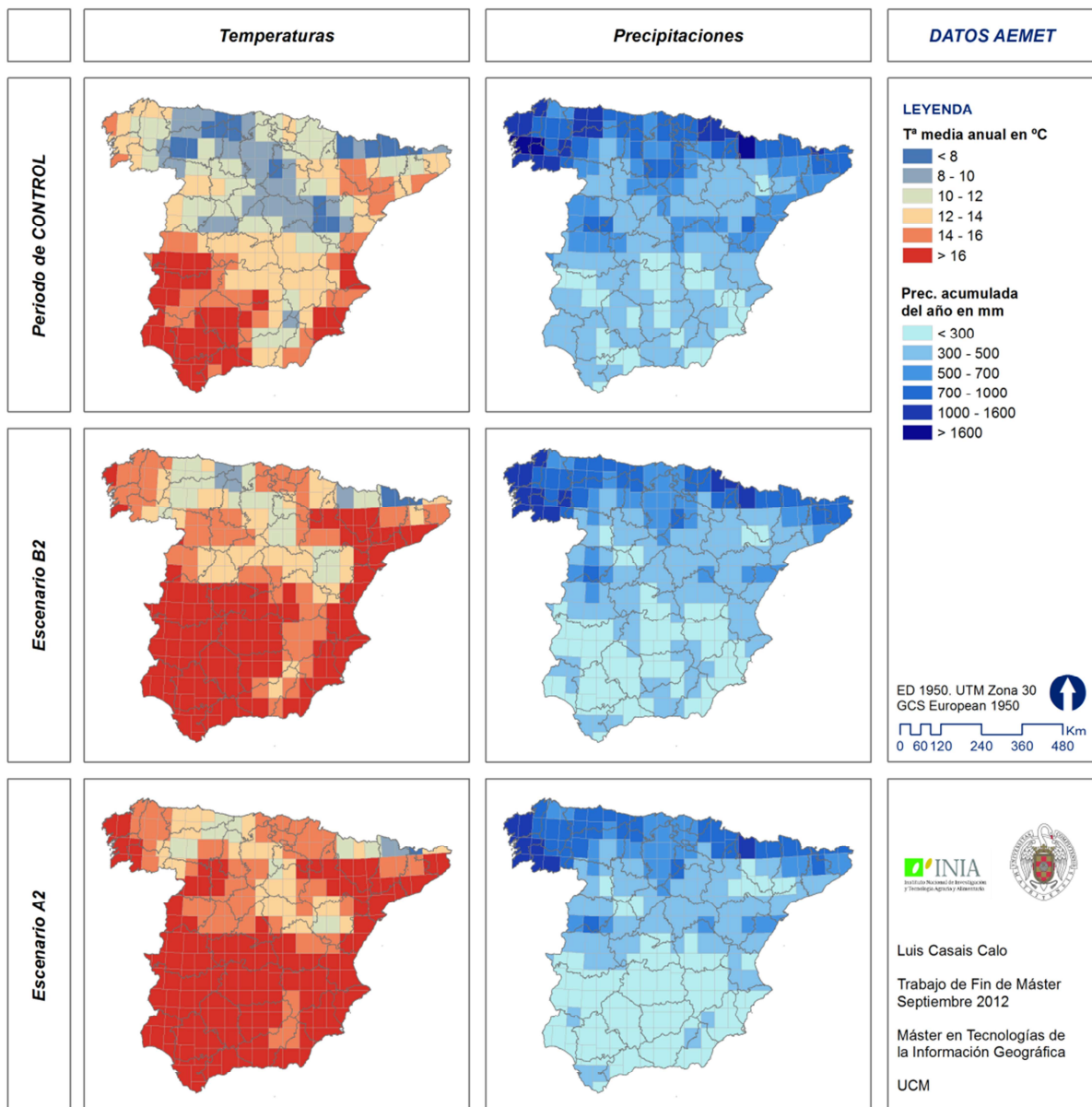


Figura 10. Mapas de comparación entre la temperatura media anual en °C y la precipitación media anual acumulada en mm a resolución y 0,5x0,5 °. Datos AEMET Periodo de Control y Escenarios B2 y A2.



Capítulo 3

SELECCIÓN DE “ÁREAS DE REFERENCIA” DE CADA ESPECIE FORESTAL

3.1. *Introducción.*

En este capítulo se delimitan y caracterizan a nivel espacial para cada tipo de vegetación arbolada unas **áreas de referencia** (AR) en función de una serie de factores. Estos “casos de estudio” pretenden recoger las principales áreas de distribución de los tipos de vegetación considerados. Cada una de las AR ha sido caracterizada calculando diversas variables relativas al régimen de incendios, al clima, a la superficie forestal y otras. Las AR han permitido evaluar así un posible rango en las estimaciones del área quemada en el futuro en distintas regiones geográficas en las que hay poblaciones relevantes de los distintos tipos de vegetación.

3.2. *Material y métodos.*

Para cada uno de los principales núcleos de distribución de las especies analizadas se han delimitado áreas de referencia. Estas se han definido como:

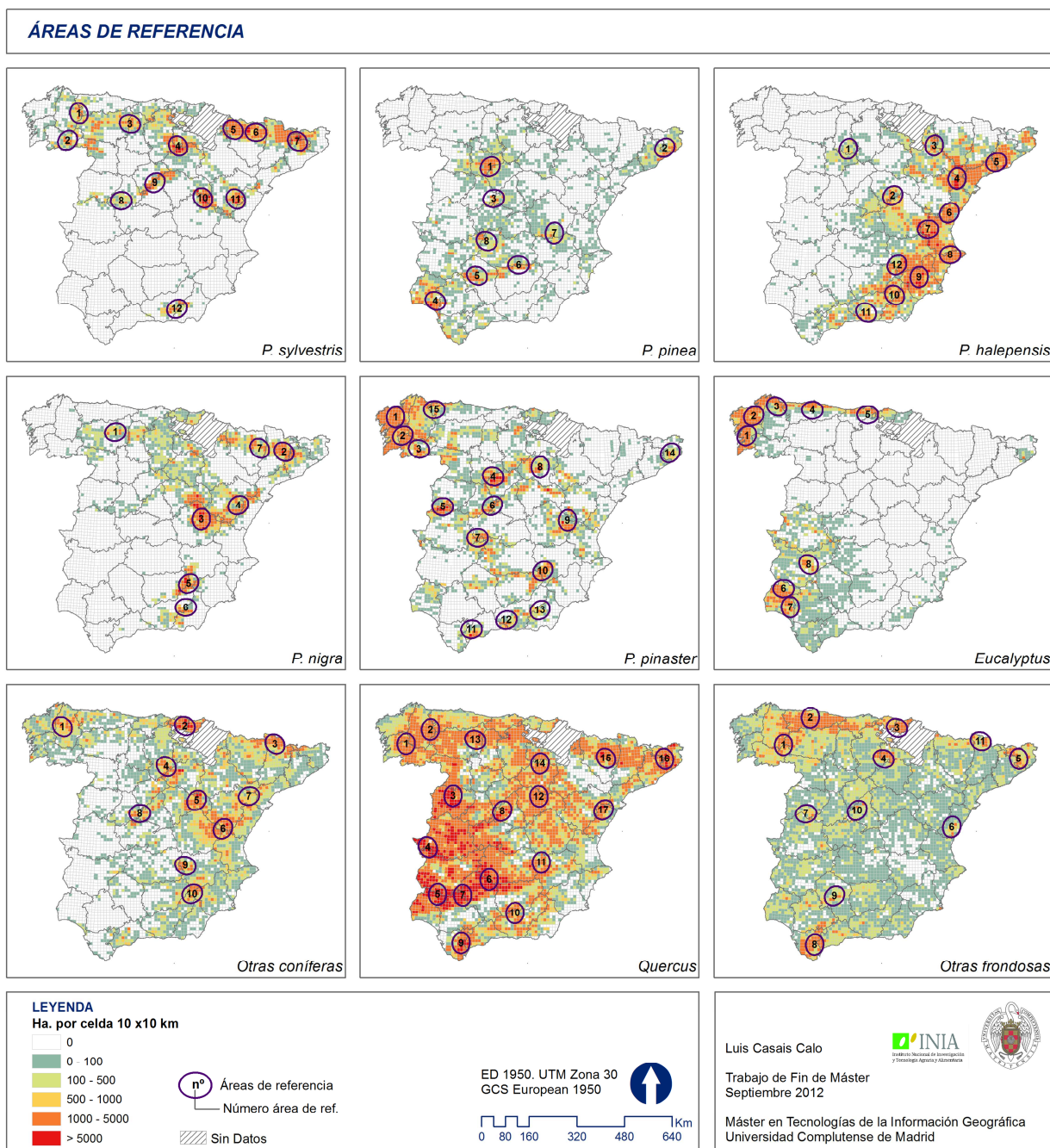
- Áreas contiguas y de tamaño similar.
- Áreas representativas de la distribución de cada tipo de vegetación arbolada.
- Áreas climáticamente homogéneas.
- Áreas dentro de un mismo tipo de vegetación potencial.

Una vez seleccionadas todas las áreas de referencia en ArcMap, las intersecté con las capas de los datos climáticos (resoluciones 10x10 km y 0,5x0,5 °), los datos de las superficies forestales e incendios (incluidos la Frecuencia de Incendios y el Periodo de Rotación) y con el MDT y los valores de pendientes. Una vez intersectadas todas las capas con las AR lo que hice fue el promedio de todas las celdas de cada AR de los datos de clima, altura y pendientes, y la suma de los datos de cada celda de superficies forestales e incendios. Todo esto con tablas dinámicas de Microsoft Excel 2010 para después construir una tabla donde están perfectamente caracterizadas todas las AR. Dado que la tabla es demasiado grande para incluirla en el presente trabajo, para mostrar los datos de las AR he utilizado gráficos que fueron realizados en el programa de cálculo IBM SPSS Statistics 20 y posteriormente maquetados en CorelDRAW X5.

3.3. Resultados.

Las AR tienen forma de elipse y una superficie de 325.890 ha aproximadamente. En la Figura 11 podemos ver las AR seleccionadas para cada una de las 9 clases de arbolado. Se trata de un total de 100 AR, las cuales no están repartidas uniformemente por los tipos de vegetación, ya que el número de AR depende de la superficie forestal arbolada de cada especie y de su distribución. Por ejemplo vemos que en los *Quercus* tenemos unas 17 AR, ya que hay mucha superficie forestal arbolada de esta especie, y además, está más uniformemente distribuida a lo largo de toda la España peninsular. Por eso necesitamos más AR para recoger sus principales áreas de distribución. En cambio otras que se distribuyen en zonas más concretas tienen menos AR, como el *Pinus nigra* donde únicamente se han seleccionado 7 AR.

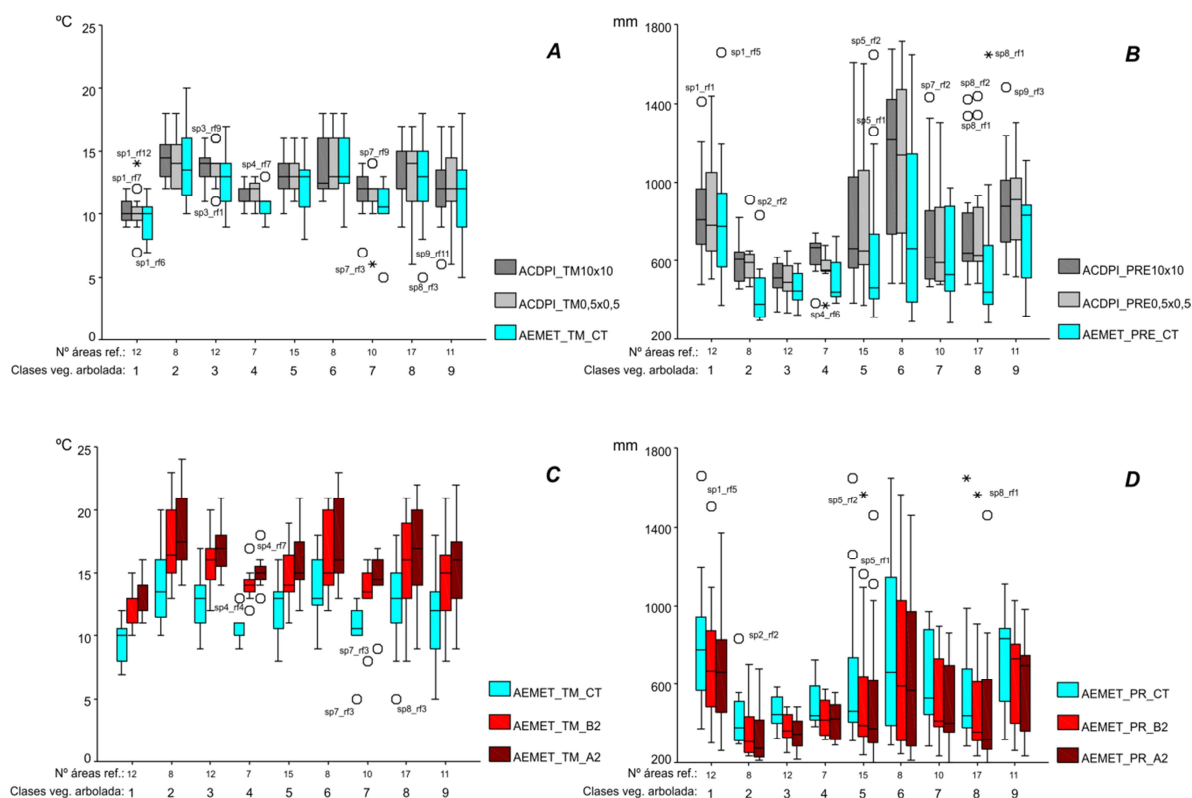
Figura 11. Mapas con las áreas de referencia seleccionadas para cada una de las clases de arbolado.



Como ya he comentado, cada una de estas AR se ha caracterizado con un gran número de datos en una tabla. Para ver esta caracterización he optado por representar estos datos gráficamente.

En primer lugar, si nos fijamos en la Figura 12 podemos ver diagramas de caja que nos muestran datos climáticos promedio de las AR para cada una de las 9 clases de vegetación arbolada. Este tipo de gráfico nos da una idea del rango de valores en el que se desarrolla cada tipo de vegetación, además de proporcionarnos una visión general de la dispersión y simetría de la distribución. Por un lado, vemos la comparación entre los datos del Atlas Climático Digital de la Península Ibérica, a las resoluciones 10x10km y 0,5x0,5°, y los datos AEMET Periodo de Control (0,5x0,5°) para las temperaturas medias (Figuras 12A) y para la precipitación acumulada (Figura 12B). En cuanto al gráfico de temperaturas medias vemos que los valores promedio de las AR más bajos los encontramos en el *Pinus sylvestris*. También llama la atención que en algunos casos los valores de AEMET Periodo de Control son muy similares a los del ACDPI (como en los *Quercus* y los *Eucalyptus*), y en otros casos el Periodo de Control presenta valores de la mediana, de Q_3 y sobre todo de Q_1 más bajos. Esto se acentúa en las precipitaciones donde los valores de AEMET Periodo de Control son mucho más bajos que los del ACDPI. Destacar que los valores de precipitación acumulada más bajos se dan en las clases de vegetación arbolada 2, 3 y 4, y que los más altos en los *Eucalyptus*, en donde vemos una gran dispersión de los datos.

Figura 12. Diagramas de caja para caracterizar climáticamente las áreas de referencia en las 9 clases de vegetación arbolada. Comparación entre el Atlas Climático Digital de la península Ibérica (ACDPI) a las resoluciones 10x10 km y 0,5x0,5 ° y los datos de AEMET Periodo de Control para la temperatura media (A) y la precipitación acumulada (B), y comparación entre los datos AEMET Periodo de Control y los Escenarios A2 y B2 para la temperatura media (C) y la precipitación acumulada (D).



Incidencia reciente del fuego en distintos tipos de vegetación arbolada y estimaciones en escenarios climáticos futuros en España peninsular.

También podemos ver la comparación entre los datos AEMET Periodo de Control y los Escenarios A2 y B2 para la temperatura media (Figura 12C) y la precipitación acumulada (Figura 12D), que nos muestran en que rango de valores de temperatura y precipitación se desarrollaran los tipos de vegetación en el futuro según las estimaciones. Se observa un aumento de las temperaturas, sobre todo en el Escenario A2. Destacar la mayor dispersión de los datos de los tipos de vegetación 2, 6, 8 y 9. En cuanto a las precipitaciones, vemos que los valores de precipitación acumulada por año descenderán en los Escenarios B2 y A2. De nuevo destacar la dispersión de los valores en la clase *Eucalyptus*.

En cuanto a las superficies forestales de cada AR, en la Figura 13 podemos ver la superficie forestal total, la superficie forestal arbolada y la superficie de cada especie de arbolado para las AR de las 9 clases de arbolado. Se basa en datos extraídos del *Mapa Forestal de España escala 1:50.000* (MFE50) que se comentaron en el Capítulo 1.

La Figura 14 nos muestran para cada una de las 9 clases de arbolado el número de incendios totales y el número de casos de cada clase en concreto, que se han producido en cada AR. Podemos encontrar gráficos, como el de *Pinus halapensis*, en donde el número de casos que afectan a esa especie en concreto es similar al total de casos en las AR, o lo que es lo mismo, que la mayoría de los incendios que se producen en estas AR son de una clase en concreto. Algo similar vemos en la Figura 15, que nos muestra también gráficos de barra que comparan las superficie arbolada quemada total y la superficie quemada de cada clase de arbolado en las AR de cada una de las 9 clases de arbolado. Ambas figuras están basadas en los datos de incendios para España peninsular del periodo 1974-2005 (Cap. 1).

En cuanto a los valores de Frecuencia de Incendios en las AR (Figura 16A) vemos que tenemos unos valores de incendios en 10.000 ha por año similares en todas las clases de vegetación arbolada salvo en el *Pinus pinaster* y en los *Eucalyptus*. Tanto en la superficie forestal total quemada, como en la superficie arbolada quemada y en la superficie afectada en cada una de estas dos especies, vemos que destacan los valores de la mediana, sobre todo del *Eucalyptus*. Por ejemplo, vemos que la superficie afectada de *Eucalyptus* en las AR de esta misma clase tiene un valor de la mediana de Frecuencia de Incendios de en torno a 10 incendios en 10.000 ha por año. También observamos la mayor dispersión de los valores tanto en el *Pinus pinaster*, como sobre todo en los *Eucalyptus*.

Si nos fijamos en el Periodo de Rotación en las AR, al que en el Capítulo 4 aplicaremos los ratios para realizar las estimaciones en los Escenarios A2 y B2, vemos en la Figura 16B que los datos solo están representados hasta 500 años ya que la dispersión en algún tipo de vegetación era muy grande porque hay AR en las que la incidencia del fuego no ha sido muy importante. Viendo este gráfico hay que destacar que la dispersión de los valores es muy grande salvo en las clases *Pinus pinaster* y *Eucalyptus*, al contrario de lo que ocurría en el resto de variables. Así, los valores más bajos del Periodo de Rotación, o lo que es lo mismo, el número de años necesarios para que se vea afectada por el fuego una superficie igual a la superficie forestal de referencia, son mucho menores en la clase *Pinus pinaster* y sobre todo en la clase *Eucalyptus*. Es evidente que analizando brevemente los datos de frecuencia y rotación,

la clase *Pinus pinaster* y sobre todo la clase *Eucalyptus* son los dos tipos de vegetación en las que el fuego ha tenido más incidencia, con mucha diferencia sobre el resto de clases de arbolado.

Figura 13. Gráficos de superficie forestal (SFOR), superficie arbolada (SFARB) y superficie de cada clase de arbolado (SCx) para las áreas de referencia de las 9 clases (MFE50).

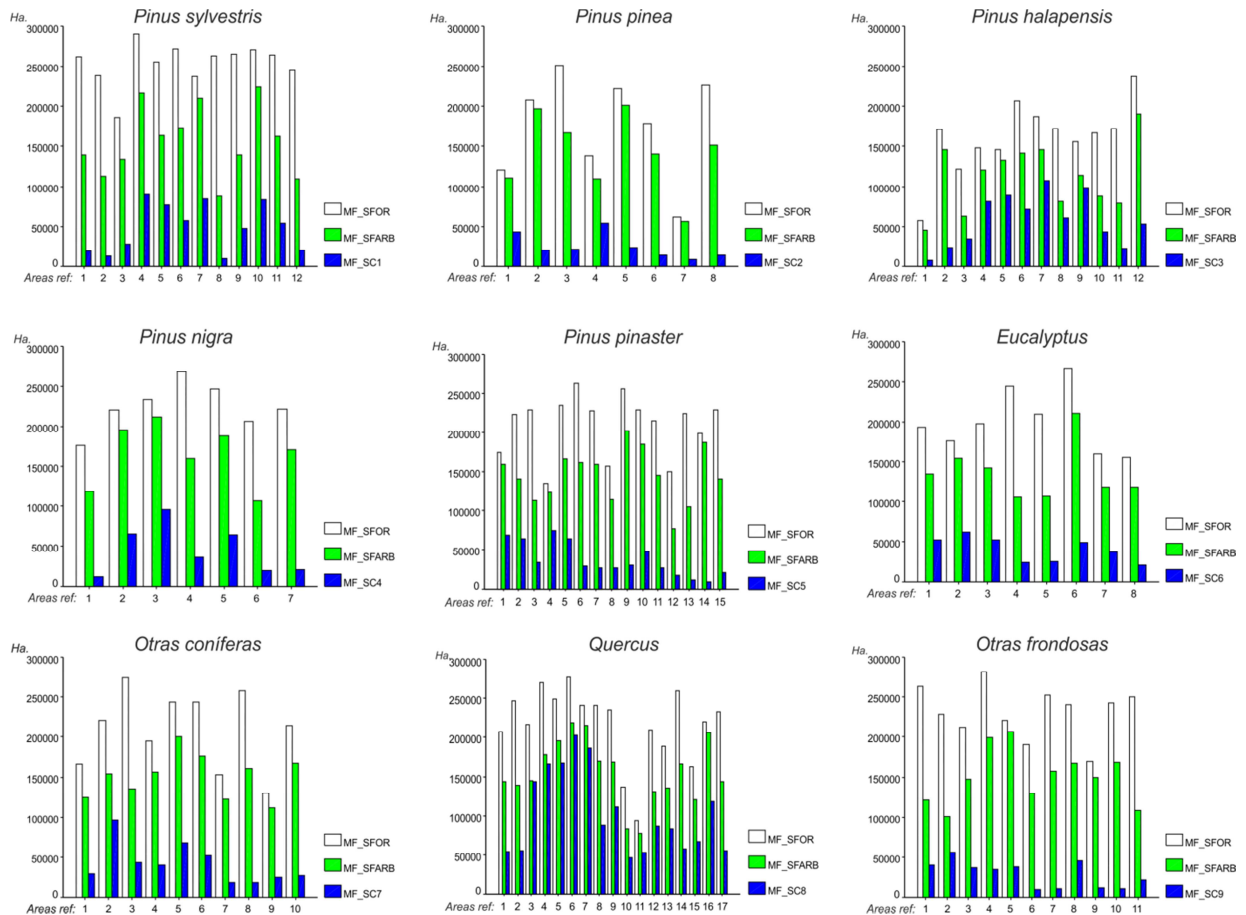


Figura 14. Gráficos de casos totales (NºCAS) y casos de cada clase de arbolado (NºCASCx) para las áreas de referencia de las 9 clases (1974-2005).

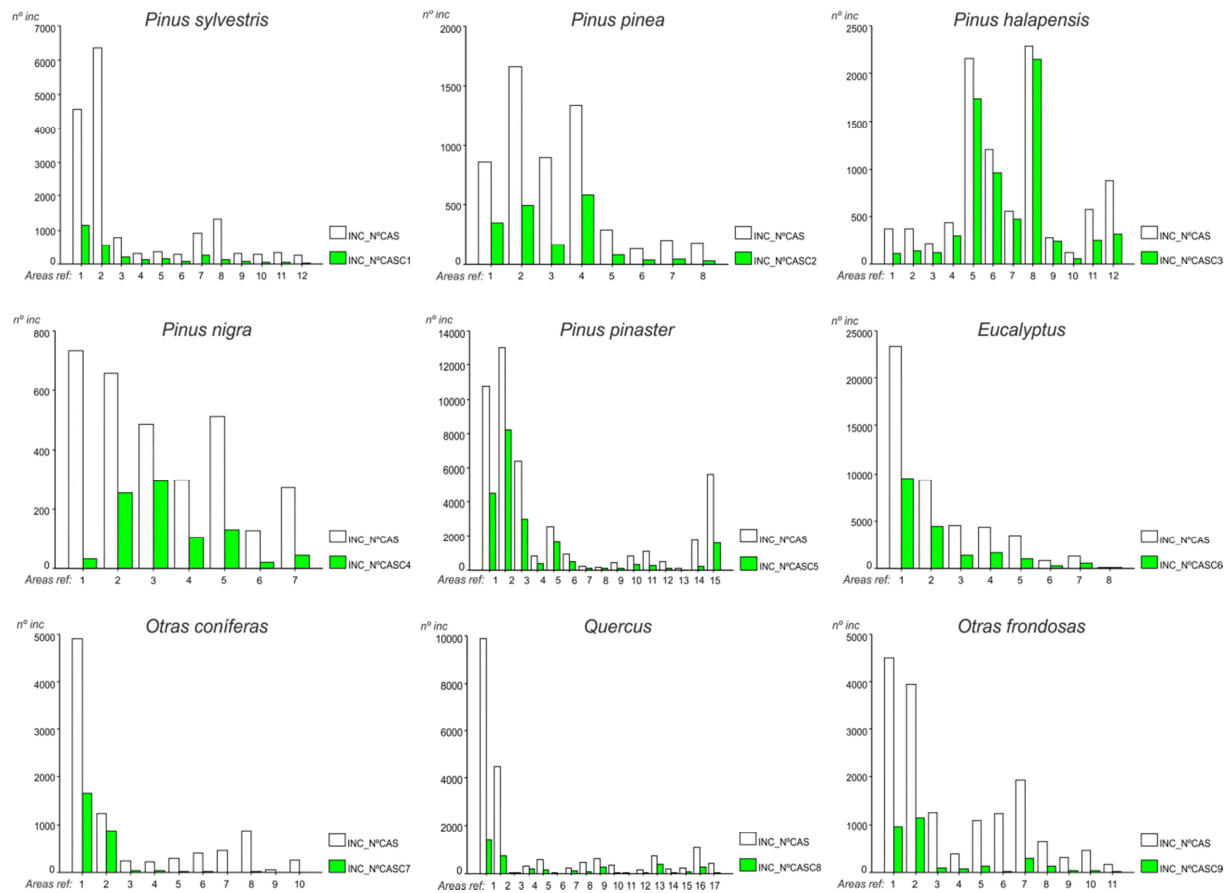


Figura 15. Gráficos de superficie arbolada quemada (SARB) y superficie arbolada quemada de cada clase (SARBCx) de arbolado para las áreas de referencia de las 9 clases (1974-2005).

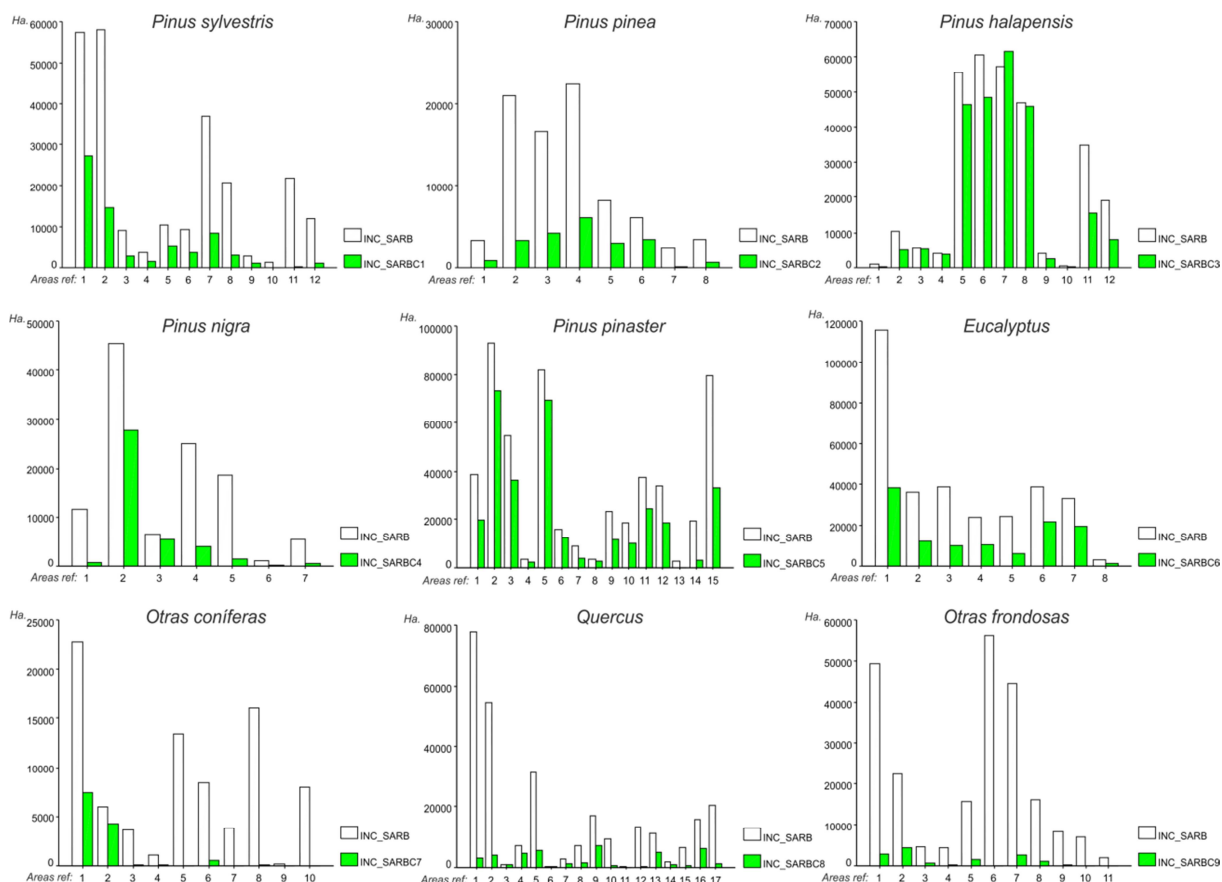
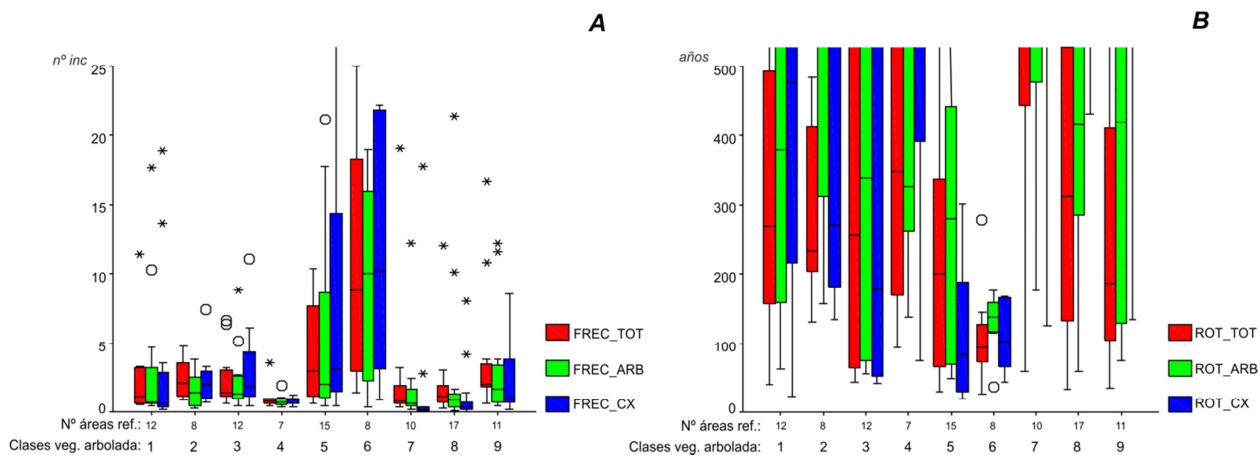


Figura 16. Diagramas de caja de Frecuencia de incendios forestales (A) de la superficie forestal total quemada (FREC_TOT), de la superficie arbolada quemada (FREC_ARB) y de la superficie afectada de cada clase de arbolado (FREC_Cx) para las áreas de referencia de las 9 clases de arbolado. Periodo de Rotación (B) para la de la superficie forestal total quemada (ROT_TOT), de la superficie arbolada quemada (ROT_ARB) y de la superficie afectada de cada especie de arbolado (ROT_Cx) para las áreas de referencia de las 9 clases de arbolado (1974-2005).



Capítulo 4

ESTIMACIONES DEL PERIODO DE ROTACIÓN DE LA SUPERFICIE ARBOLADA EN ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

4.1. Introducción.

En este capítulo se toman las estimaciones futuras basadas en los ratios elaborados por Vázquez *et al.*, (2012). Los modelos se han basado en la relación entre la incidencia del fuego registrada en los últimos años y variables meteorológicas mensuales. Estos modelos permitieron calcular estimaciones de la incidencia del fuego en escenarios climáticos futuros frente a la actual. Los ratios elaborados para la superficie arbolada quemada en los escenarios de Emisiones A2 y B2 se han aplicado en este trabajo para realizar nuestras estimaciones. El modelo concreto a aplicar se basa en la ecozona en que se localiza el área de referencia. A partir de las estimaciones del área quemada en escenarios futuros se calcula el Periodo de Rotación estimado para la superficie arbolada.

4.2. Material y métodos.

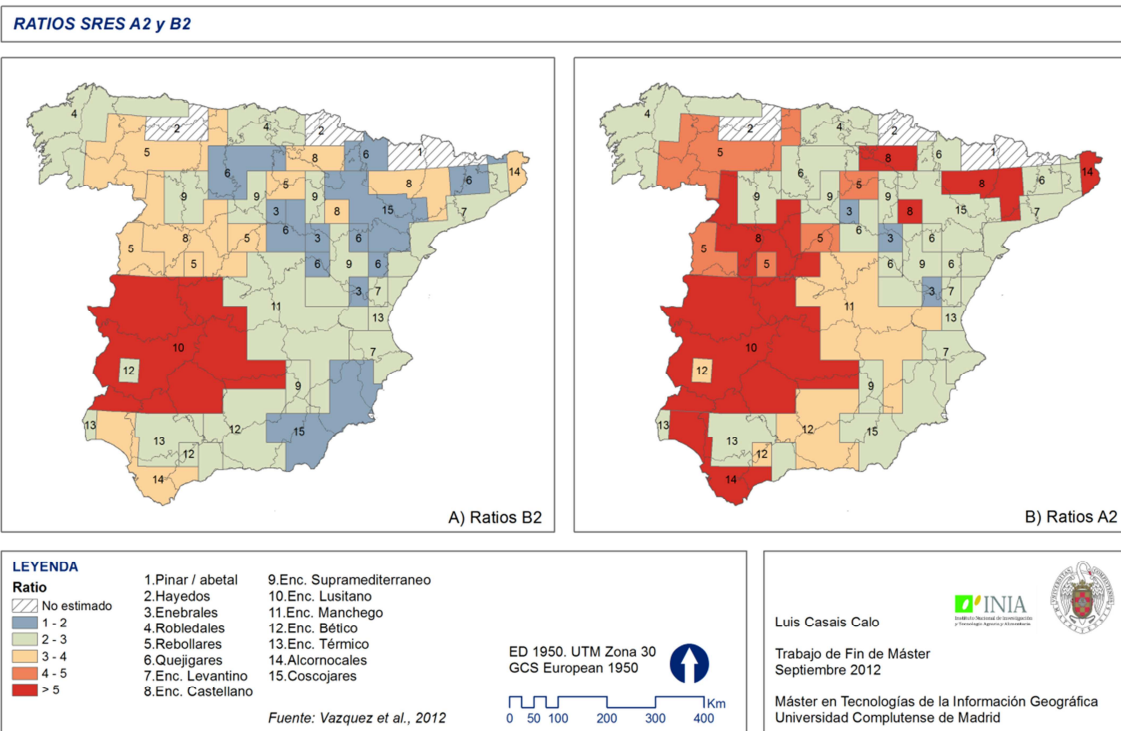
Para calcular el Periodo de Rotación para la superficie arbolada en los escenarios climáticos SRES A2 y B2 se han utilizado los ratios definidos en Vázquez *et al.*, (2012). En dicho trabajo se elaboraron modelos de regresión lineal teniendo en cuenta una serie de variables meteorológicas mensuales y variables relativas a la incidencia del fuego para las 15 ecozonas. Se obtuvieron modelos de regresión significativos para 13 de las 15 ecozonas consideradas. Las ecozonas para las que no se han obtenido regresiones estadísticamente significativas son la de Pinar/Abetal y Hayedos. Una vez que la relación entre las variables relativas a la incidencia del fuego y las variables meteorológicas fueron determinadas, se utilizaron para estimar la incidencia del fuego en el Periodo de Control (1961-1990) y en los Escenarios A2 y B2 (2071-2100). Después se calcularon los ratios entre los valores estimados entre los Escenarios A2 y B2 frente a los estimados en el Periodo de Control.

En la Tabla 10 y en la Figura 17 podemos ver los ratios de los Escenarios A2 y B2 para la superficie arbolada quemada referidos a los 15 tipos de vegetación potencial. Si nos fijamos en la tabla tenemos los valores de los ratios obtenidos y los mismos valores pero limitados a 5. Estos últimos son los que utilizaremos para hacer las estimaciones del Periodo de Rotación que veremos en este capítulo. En la mayoría de los territorios los ratios son inferiores a 5, salvo en algún caso en el que valores eran más altos y se optó por truncarlos a 5. Estos ratios se aplicaran al Periodo de Rotación de cada área de referencia en función del tipo de vegetación potencial en la que se encuentre.

Tabla 10. Tabla con los ratios obtenidos (Vázquez *et al.*, 2012) entre las estimaciones para los Escenarios A2 y B2 y el Periodo de Control para la superficie arbolada quemada para los 15 tipos de vegetación potencial. Valores de los ratios obtenidos (RAT) y valores limitados a 5 (RAT5).

Ecozona	RAT_B2	RAT_A2	RAT5_B2	RAT5_A2
<i>Pinar / abetal</i>				
<i>Hayedos</i>				
<i>Enebrales</i>	1,52	1,65	1,52	1,65
<i>Robledales</i>	2,21	2,90	2,21	2,90
<i>Rebollares</i>	3,49	4,56	3,49	4,56
<i>Quejigares</i>	1,98	2,27	1,98	2,27
<i>Enc. Levant.</i>	2,44	2,89	2,44	2,89
<i>Enc. Castell.</i>	3,92	5,12	3,92	5,00
<i>Enc. Supram.</i>	2,14	2,48	2,14	2,48
<i>Enc. Lusitano</i>	5,48	7,84	5,00	5,00
<i>Enc. Manche.</i>	2,94	3,57	2,94	3,57
<i>Enc. Bético</i>	2,66	3,32	2,66	3,32
<i>Enc. Térmico</i>	2,38	2,85	2,38	2,85
<i>Alcornocales</i>	3,85	5,09	3,85	5,00
<i>Coscojares</i>	1,85	2,17	1,85	2,17
MEDIA	2,84	3,59	2,80	3,36
MEDIANA	2,44	2,90	2,44	2,90

Figura 17. Mapa con los ratios obtenidos (Vázquez *et al.*, 2012) entre las estimaciones para los Escenarios A2 y B2 y el Periodo de Control de la superficie arbolada quemada para los 15 tipos de vegetación potencial.



4.3. Resultados.

Antes de comentar los resultados obtenidos al aplicar los ratios de los Escenarios A2 y B2 al Periodo de Rotación, hay que comentar un poco las limitaciones y asunciones necesarias para la validez de los modelos utilizados en las estimaciones realizadas en el trabajo Vázquez *et al.*, (2012). Además de las limitaciones del método empleado, como los valores de r^2 moderados que explican solo una parte de la varianza en la estimación de los incendios, hay otros aspectos que hay que tener en cuenta (Flannigan *et al.*, 2005b). En primer lugar no se han tenido en cuenta posibles cambios en el número de igniciones ni variaciones en el número de igniciones originadas por rayos, ya que se espera un incremento de las tormentas y un estado de los combustibles más favorable para que se produzcan incendios. Además, se asume que la vegetación permanecerá constante a lo largo del tiempo, lo que es del todo improbable ya que un cambio en las condiciones del clima produciría una variación en la distribución de las especies y de las características de los combustibles. Por último, se asume que no habrá cambios en la duración de los periodos de incendios ni en la actividad humana.

Pero a pesar de estas limitaciones, los ratios calculados en el trabajo Vázquez *et al.*, (2012) nos permiten realizar las estimaciones para el Periodo de Rotación de los Escenarios SRES A2 y B2 y así hacernos una idea de como será la incidencia de los incendios forestales en el futuro.

Como ya he comentado los ratios se aplicaron al Periodo de Rotación de cada área de referencia dependiendo de la ecozona en el que se encuentre. Los resultados de la aplicación de estos ratios los hemos expresado gráficamente. Para esto se ha optado por limitar los valores superiores a 500. Se consideró que los valores superiores a 500 años se dan cuando la superficie afectada por incendios es muy pequeña y podemos considerar que el valor no es relevante y por lo tanto la incidencia del fuego es baja. En la Figura 18A podemos ver un diagrama de caja que compara los valores del Periodo de Rotación 1974-2005 y de los Escenarios A2 y B2 para las áreas de referencia de las 9 clases de arbolado. Vemos que las especies más afectadas son de nuevo el *Pinus pinaster* y los *Eucalyptus* con valores de mediana y de los cuartiles 1 y 3 muy bajos. En estas dos clases la dispersión de los valores es mucho menor.

Evidentemente una vez aplicados los ratios se evidencia un descenso generalizado del número de años necesarios para que se vea afectada una superficie igual a la superficie forestal de referencia. Las clases *Pinus pinaster* y *Eucalyptus* son las que muestran un Periodo de Rotación más bajo, y si nos fijamos en las proyecciones, vemos que para los Escenarios B2 y A2 la incidencia del fuego será altísima en estas dos especies, con unos valores de la mediana menores a 100 años en ambos escenarios. También encontramos valores de la mediana muy bajos en las proyecciones de las especies *Pinus pinea* y *Pinus halepensis*. En cambio hay otros valores, como por ejemplo en la clase *Otras coníferas*, que son muy altos y que se dan cuando la superficie quemada es muy pequeña y el valor concreto no es relevante. Sobre estas especies se puede decir que la incidencia ha sido baja. En la Figura 18B vemos una síntesis general en la que se muestran el resumen de los datos de las áreas de referencia para el Periodo de Rotación 1974-2005 y los Escenarios A2 y B2, y donde se vuelve a apreciar un descenso general del Periodo de Rotación en ambos escenarios.

En la Figura 19 podemos ver también unos diagramas de caja que nos muestran una síntesis general de los datos de las áreas de referencia para el Periodo de Rotación 1974-2005 y los Escenarios A2 y B2, pero esta vez referidos a cada una de las 9 clases de arbolado.

Por último, y desglosando más los resultados, tenemos unos gráficos de barra (Figura 20) que nos compara los datos del Periodo de Rotación 1974-2005 y de los Escenarios A2 y B2 para cada una de las áreas de referencia en las 9 clases de vegetación arbolada. Podemos ver por ejemplo que en clases muy afectadas por los incendios forestales, como puede ser el *Pinus pinaster*, los datos del Periodo de Rotación de cada área de referencia pueden ser muy variables, con áreas muy afectadas y otras con una incidencia del fuego muy baja. Por lo tanto aunque se trate de la misma especie, la variabilidad espacial de la incidencia del fuego puede ser muy alta en algunos casos.

Finalmente también se presentan los resultados de la aplicación de los ratios en forma de mapa (Figura 21A y 21B). Aquí tenemos mapas de comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 y de los Escenarios A2 y B2 para las áreas de referencia de las 9 clases de vegetación arbolada. Vemos perfectamente de nuevo, que aun tratándose de la misma especie o clase de vegetación arbolada, la incidencia del fuego es muy variable en las distintas áreas de referencia.

En general destacar que el descenso de los valores del Periodo de Rotación entre los Escenarios A2 y B2 no es muy destacado. En cambio, si que tenemos unas diferencias muy grandes entre el periodo 1974-2005 y los dos Escenarios de Emisiones. También destacar que la incidencia del fuego es mucho mayor en las especies que predominan en el noroeste peninsular, como el *Pinus pinaster* y los *Eucalyptus*.

Figura 18. Diagramas de caja del Periodo de Rotación para las áreas de referencia de las 9 clases de arbolado (A) y síntesis general de los datos (B). Comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 (ROT_Cx500) y de los Escenarios A2 (ROT_Cx500A2) y B2 (ROT_Cx500B2) limitados a 500 años.

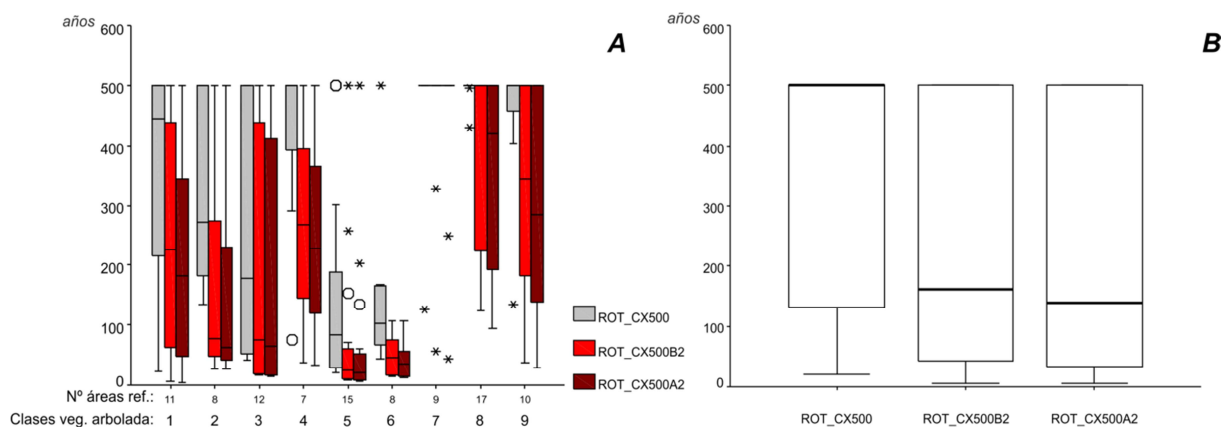


Figura 19. Diagramas de caja con la síntesis de los datos del Periodo de Rotación de las áreas de referencia con la comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 (ROT_Cx_500) y de los Escenarios A2 (ROT_Cx_500A2) y B2 (ROT_Cx_500B2) limitados a 500 años referidos a las 9 clases de arbolado.

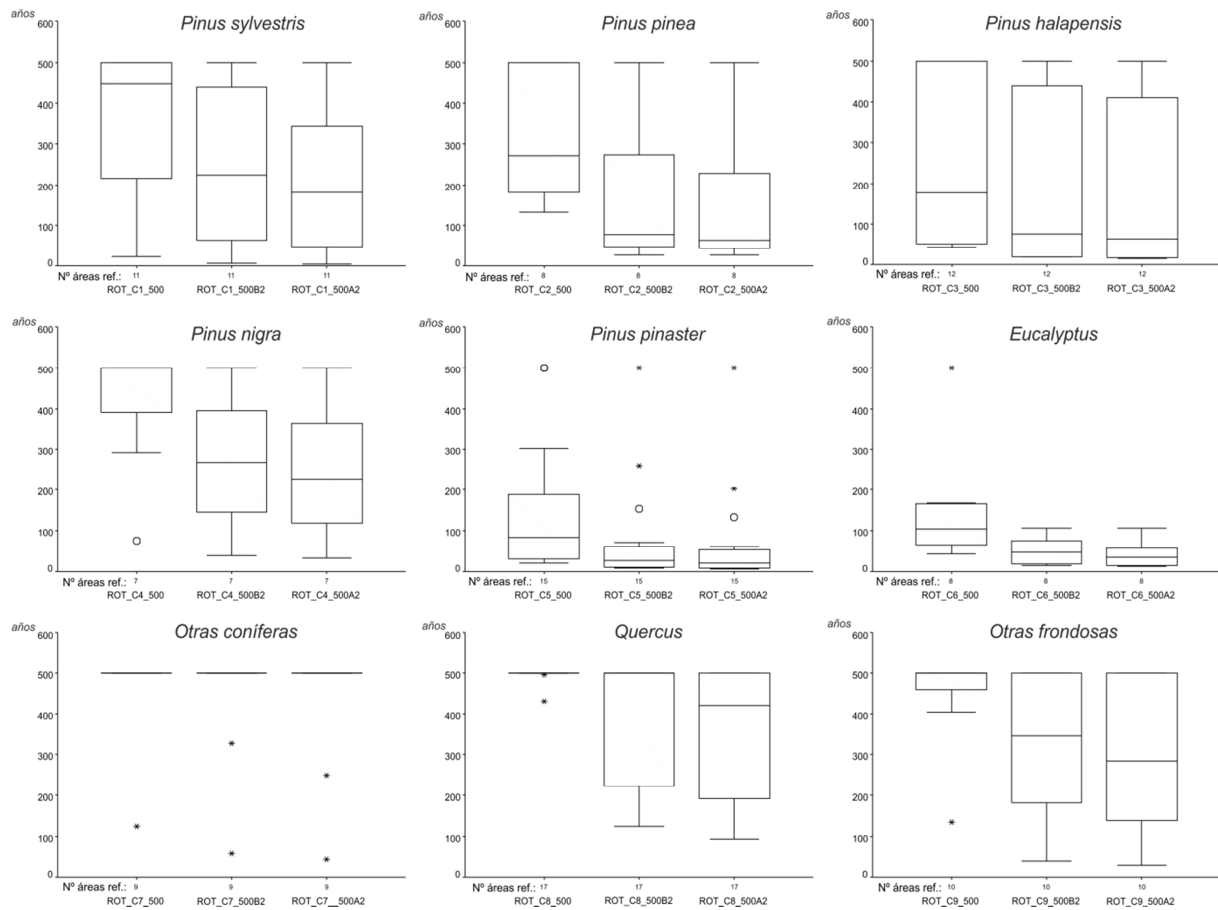


Figura 20. Gráficos de comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 (ROT_Cx_500) y de los Escenarios A2 (ROT_Cx_500A2) y B2 (ROT_Cx_500B2) limitados a 500 años para las áreas de referencia de las 9 clases de vegetación arbolada.

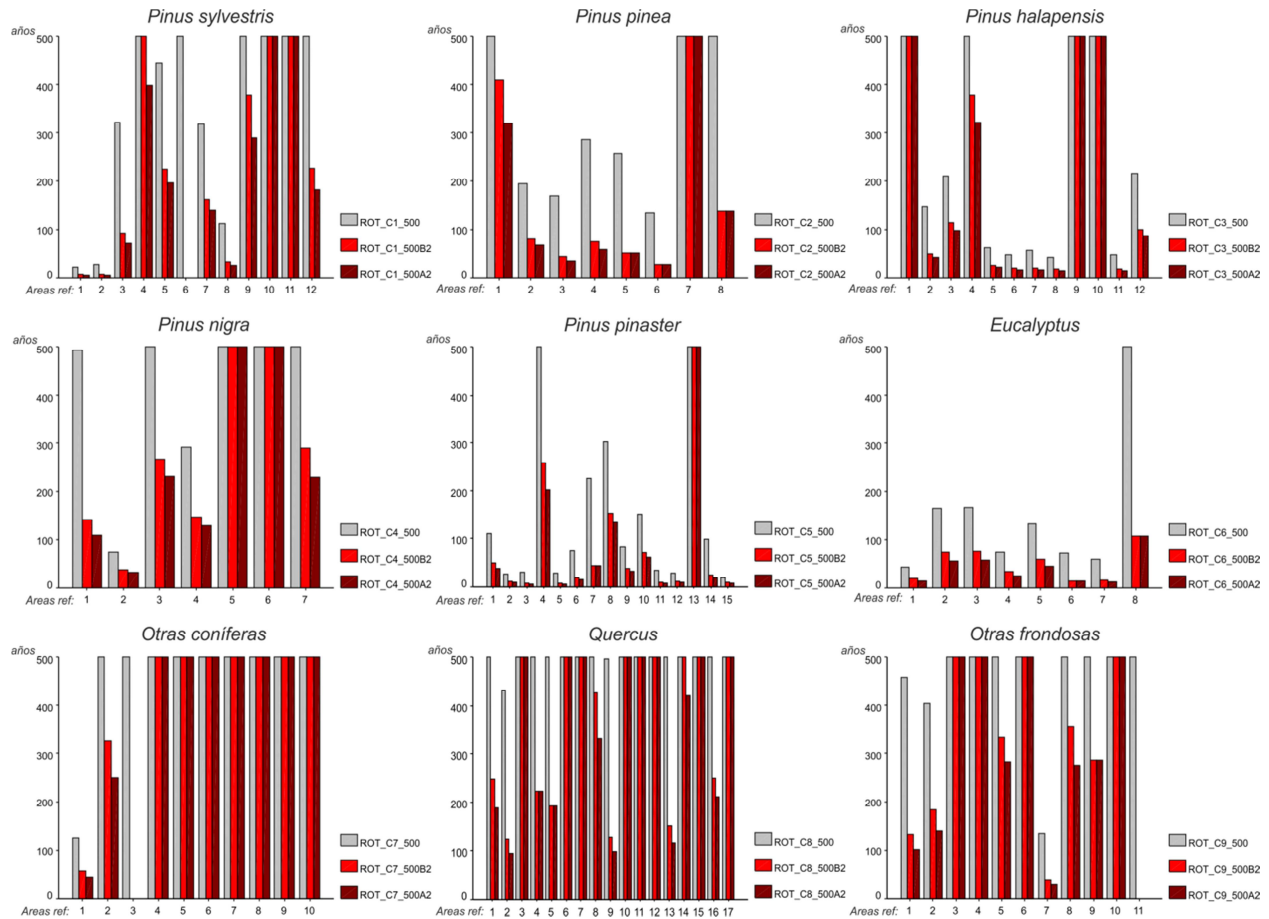
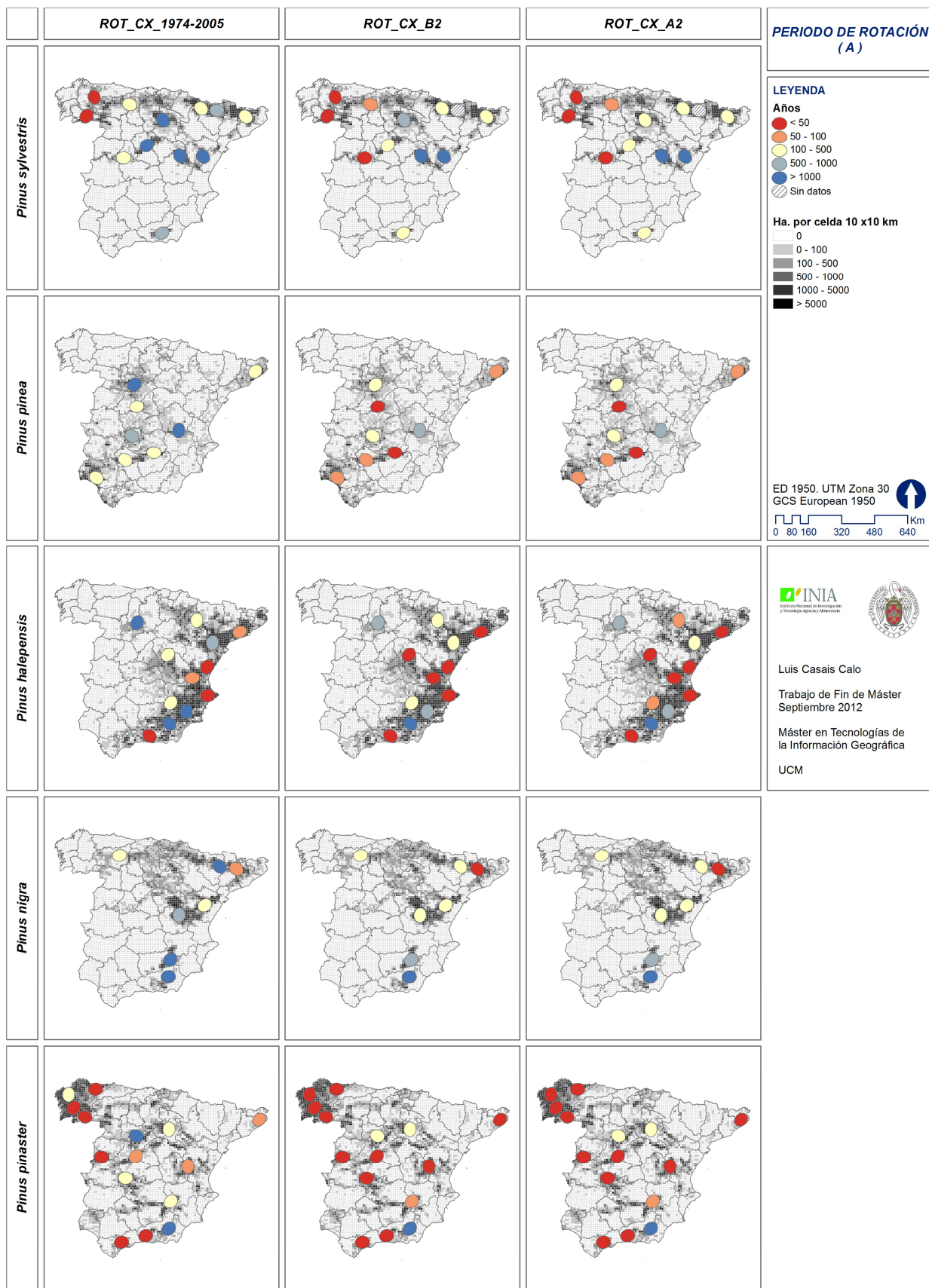
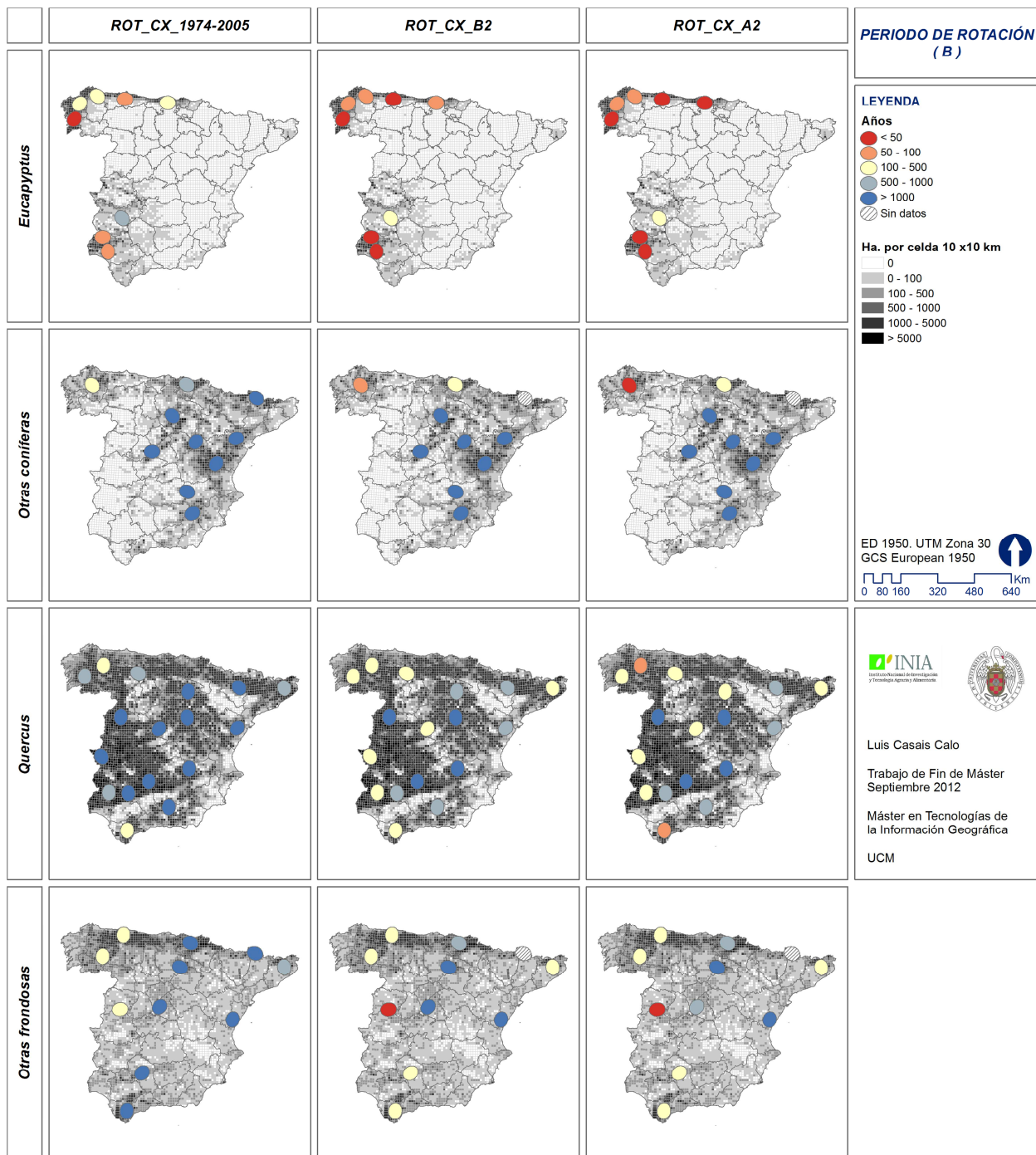


Figura 21A. Mapas de comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 (ROT_CX_1974-2005) y de los Escenarios A2 (ROT_CX_A2) y B2 (ROT_CX_B2) para las áreas de referencia de 5 de las 9 clases de vegetación arbolada.



Incidencia reciente del fuego en distintos tipos de vegetación arbolada y estimaciones en escenarios climáticos futuros en España peninsular.

Figura 21B. Mapas de comparación entre el Periodo de Rotación 1974-2005 (ROT_CX_1974-2005) y de los Escenarios A2 (ROT_CX_A2) y B2 (ROT_CX_B2) para las áreas de referencia de 4 de las 9 clases de vegetación arbolada.



II.DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los cálculos y resultados obtenidos en el presente trabajo confirman que las especies de arbolado predominantes en el noroeste peninsular son las más afectadas por incendios forestales. Así, especies como el *Pinus pinaster* y los *Eucalyptus* son las especies en las que en fuego ha tenido mayor incidencia en las últimas décadas a partir de los datos del número de casos en que se han visto afectadas, de la superficie quemada y de las variables derivadas: Frecuencia de Incendios y Periodo de Rotación. Si nos fijamos en la incidencia por ecozonas, la denominada Robledal ha sido la más afectada.

En cuanto a las estimaciones que hemos realizado del Periodo de Rotación en las Escenarios de Emisiones A2 y B2, dan como resultado una disminución generalizada de los valores en ambos escenarios ya que los ratios que hemos aplicado (Vázquez *et al.*, 2012) son mayores a 1 en todas las ecozonas, con una variabilidad espacial bastante grande. Por lo tanto se espera que el número de años necesario para que se vea afectada por el fuego una superficie igual a la superficie forestal de referencia disminuyan de forma clara a finales de este siglo si las predicciones se cumplen.

Destacar la importancia de los SIG en el presente trabajo, ya que me han proporcionado las herramientas necesarias para elaborar una metodología que me permitió obtener una estimación de la superficie forestal a partir del Mapa Forestal Español escala 1:50.000 para los 9 tipos de vegetación arbolada. Gracias a esto pude calcular el Periodo de Rotación para después aplicarle los ratios en los Escenarios de Emisiones A2 y B2 y así ver la incidencia futura del fuego en las distintas clases de arbolado que hemos considerado.

Podemos concluir afirmando que la incidencia de los incendios forestales aumentará a finales de este siglo, si las estimaciones que hemos tenido en cuenta en el presente trabajo se confirman. Estos resultados aportan un argumento más para confirmar lo que algunas investigaciones realizadas hasta la época dicen al afirmar que el área quemada por los incendios forestales aumentará. Por lo tanto, aunque quede mucho trabajo para mejorar las estimaciones de la actividad del fuego en el futuro, las proyecciones en este siglo pueden ser utilizadas para explorar opciones de adaptación y mitigación de los incendios.

Es evidente que si se confirman estas estimaciones en las que la incidencia de los incendios forestales aumentará en este siglo para el conjunto de la España peninsular, las consecuencias serán importantes para las economías de los gobiernos por el mayor gasto en sistemas de extinción y prevención, para el medioambiente por el aumento de emisiones, para la distribución de las especies y el consiguiente cambio en los paisajes, y para los ecosistemas forestales en general. Por lo tanto será vital establecer una serie de medidas encaminadas a paliar los efectos del aumento de la incidencia de los incendios forestales debido al cambio climático (Figura 22) y revisar los planes de lucha contra incendios forestales teniendo en

cuenta estos cambios futuros. En primer lugar sería de gran importancia tener una mayor capacidad de predicción del peligro de incendio que nos permitirá poner en marcha medidas preventivas en los lugares de mayor riesgo. También sería vital la mejora de los sistemas de vigilancia para así disminuir los tiempos de respuesta y minimizar los daños. En mi opinión será muy importante establecer cambios en las políticas de lucha contra incendios forestales que no estuvieran únicamente encaminadas a la extinción del fuego, sino que se centraran en la gestión de los montes, como por ejemplo disminuyendo la cantidad de combustibles disponible en las zonas de mayor peligrosidad y utilizar el fuego como una herramienta siempre bajo condiciones favorables. Otra medida será promover una mayor sensibilización y educación de la población sobre estos temas, lo que permitirá disminuir los incendios causados por el hombre, que compensaría en cierta manera el aumento que se espera por los incendios causados por rayos.

El objetivo de estas y otras medidas será el de controlar los incendios forestales antes de que sean devastadores. Aun así, lo normal será que los incendios que se den en condiciones muy adversas prosperen, lo que dibuja un escenario futuro en el que la presencia de grandes incendios sea algo más que probable (Moreno, 2007). Por último, una vez que el incendio se produzca será muy importante establecer estrategias de restauración que impidan que en las zonas afectadas se sigan produciendo procesos de degradación.

Pero aunque en mi opinión es importante ver como pueden afectar un nuevos escenarios climáticos a la incidencia de los incendios forestales, ya que esto nos permitirá proponer medidas de adaptación y mitigación, no debemos apartarnos de la idea de que los incendios forestales son un grave problema en la actualidad y no es necesario apoyarse en escenarios climáticos futuros para promover medidas eficaces de prevención, predicción, detección y extinción de los incendios forestales y restauración de los ecosistemas dañados.

Figura 22. Medidas para paliar los efectos de los incendios forestales.



Incidencia reciente del fuego en distintos tipos de vegetación arbolada y estimaciones en escenarios climáticos futuros en España peninsular.

III.AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a Antonio Vázquez de la Cueva por ayudarme y guiarme en la realización de este trabajo, por darme la oportunidad de realizar las prácticas del máster en el INIA y por facilitarme la información sobre incendios aquí empleada. También dar las gracias a María Eugenia Pérez González por prestarse a ser mi tutora en este trabajo y estar ahí para lo que hiciera falta. Dar las gracias a todos mis compañeros del máster, especialmente a África, Alberto, Jose, Fran y Víctor con los que compartí prácticas y buenos momentos en el INIA. Gracias por tu apoyo Sofi.

IV.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET (2007). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Informe realizado con contribuciones de: M. Brunet, M.J. Casado, M. de Castro, P. Galán, J.A. Lopez, J.M. Martín, A. Pastor, E. Petisco, P. Ramos, J. Ribalaygua, E. Rodríguez & L. Torres. Ministerio de Medio Ambiente, Informe de Febrero 2007. 145 pp.
- CIFOR-INIA (2008): *Malla climática de España peninsular*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Subdirección General de Inventario del Patrimonio Natural y la Biodiversidad. Área de Banco de Datos de la Naturaleza.
- FLANNIGAN, M.D. y HARRINGTON, J.B., (1988). *A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-80)*. J. Appl. Meteorol. 27: 441-452.
- FLANNIGAN, M.D. y VAN WAGNER, C.E., (1991). *Climate change and wildfire in Canada*. Canadian J. of Forest Research 21: 66-72.
- FLANNIGAN M.D., STOCKS B.J., WOTTON B.M., (2000). *Climate change and forest fires*. The Science of the Total Environment 262: 221-229.
- FLANNIGAN M.D, LOGAN K.A. AMIRO B.D., SKINNER W.R., STOCKS B.J., (2005a). *Future area burned in Canada*. Climatic Change 72:1-16.
- FLANNIGAN M.D., AMIRO B.D., LOGAN K.A., STOCKS B.J., WOTTON B.M., (2005b). *Forest fires and climate change in the 21st century*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change (2005). DOI: 10.1007/s11027-005-9020-7
- FLANNIGAN M.D., KRAWCHUK M.A., DE GROOT W.J., WOTTON B.M., GOWMAN L.M., (2009): *Implications of changing climate for global wildland fire*. Int. J. Wildland Fire 18: 483-507.
- FRIED J.S., TORN M., MILLS E., (2004). *The impact of climate change on wildfire severity: a regional forecast for northern California*. Climatic Change 64: 169-191.
- GONZALO JIMÉNEZ, J., (2010). *Diagnosis fitoclimática de la España peninsular: Hacia un modelo de clasificación funcional de la vegetación y de los ecosistemas peninsulares españoles*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente y Media Rural y Marino. 441 páginas.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden y D. Xiaosu (Eds.). Cambridge University Press, UK. pp 944.

- IPCC (2007): Alcamo, J., J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen, A. Shvidenko, 2007: Europe. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.
- LAVOREL S., FLANNINGAN M.D., LAMBIN E.F., SCHOLES M.C., (2006): *Vulnerability of land systems to fire: interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 12,33-53.
- MF50 (1998-2007): *Mapa Forestal de España escala 1:50.000*. Ministerio de Medio Ambiente.
- MORENO J.M., VÁZQUEZ, A., VÉLEZ, R., (1998). *Recent history of forest fires in Spain*. En: Moreno, J.M. (Ed.) "Large Forest Fires", Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands, 159-185.
- MORENO J.M., (2005). *Riesgos de Origen Climático: Impactos sobre los Incendios Forestales*. En: J.M. Moreno (Coord. /Ed.), Evaluación Preliminar de los Impactos en España por el Efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, págs. 581-615.
- MORENO J.M., (2007): *Cambio global e incendios forestales: una visión desde España*. En: IV Conferencia Internacional sobre incendios forestales. Sevilla, Mayo 2007. www.wildfire07.es
- NINYEROLA, M., PONS, X., y ROURE, J.M., (2005). *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. ISBN 932860-8-7. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.
- PONS, X., (2004). *MiraMon. Geographical information system and remote sensing software*. Versión 5. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). ISBN: 84-931323-4-9. www.creaf.uab.es/miramon
- PRUDENCE (2005). *Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects*. PRUDENCE Project EVK2-CT2001-00132. Final Report. <http://prudence.dmi.dk>
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., (1987). *Mapa de las series de vegetación de España (1:400.000)*. Publ. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- VAZQUEZ DE LA CUEVA, A., (1996): *Régimen de incendios en España Peninsular: 1974-94. Relaciones con la climatología y el paisaje*. UCM, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Ecología.
- VÁZQUEZ A., PÉREZ B., FERNÁNDEZ-GONZALEZ F., MORENO J.M., (2002). *Recent fire regime characteristics and potential natural vegetation relationships in Spain*. Journal of Vegetation Science 13, 663–676.

- VÁZQUEZ A., GARCÍA J.M., ORTEGA M., SÁNCHEZ-PALOMARES O., (2006). *Recent fire regime in peninsular Spain in relation to forest potential productivity and population density*. Int. J. of Wildland Fire, 15: 397-405.
- VÁZQUEZ DE LA CUEVA, A. y RODRÍGUEZ MARTÍN J.A., (2008). *Dinámica de paisajes forestales en relación a la incidencia del fuego en España peninsular: 1987-2000*. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 2008, v. 17, no. 2, p. 143-154.
- VÁZQUEZ DE LA CUEVA, A., QUINTANA NIETO, J.R., CAÑELLAS I., (2012). *Fire activity projections in the SRES A2 and B2 climatic scenarios in peninsular Spain*. Int. J. of Wildland Fire. <http://dx.doi.org/10.1071/WF11013>.
- ZABALA, G., (2012). *Estudios aplicados a avanzar en la comprensión de los impactos del cambio climático sobre los incendios forestales en España*. UCLM. Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica. Departamento de Ciencias Ambientales.